



Comité consultatif pour l'environnement de la Baie James
James Bay Advisory Committee on the Environment

ᑲᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲ ᑲ ᑲᑲᑲᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲᑲᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲᑲᑲᑲᑲᑲ ᑲᑲᑲᑲᑲᑲ



PORTRAIT ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX CONNUS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE TERRITOIRE DE LA BAIE JAMES

Juin 2007



Table des matières

Table des matières.....	i
Liste des tableaux.....	iii
Liste des figures.....	iv
Remerciements	v
1. Introduction.....	1
2. La science du réchauffement climatique	2
2.1 La température.....	3
2.2 Les précipitations	5
2.3 Les changements climatiques attendus	6
2.4 Les facteurs d'accélération et de ralentissement (sources et puits de carbone)	8
2.5 Les impacts spécifiques aux milieux nordiques.....	12
2.6 Le Territoire de la Baie James et le climat	12
2.6.1 Les données climatiques disponibles	13
2.6.2 Les variations spatiales du climat sur le Territoire de la Baie James	15
2.6.3 Les principales tendances climatiques	16
3. Conséquences des changements climatiques.....	17
3.1 Les ressources en eau.....	17
3.2 Les zones côtières	18
3.3 La forêt.....	18
3.3.1 Impacts des changements climatiques sur la physiologie des forêts	18
3.3.1.1 La concentration en CO ₂	19
3.3.1.2 La température	20
3.3.1.3 Les précipitations	21
3.3.2 Migrations des espèces déplacements des écosystèmes	23
3.3.3 Les perturbations naturelles	24
3.3.3.1 Les incendies.....	25
3.3.3.2 Les épidémies.....	27
3.3.4 Impacts socio-économiques	27
3.4 Les tourbières	28
3.5 La faune	29
3.5.1 Les effets indirects du climat	29
3.5.2 Les effets directs	31
3.5.3 Les études sur le Territoire de la Baie James.....	31
3.6 L'énergie et le Territoire de la Baie James.....	32

4.	<i>Les recherches à suivre et à mener pour combler les lacunes sur le Territoire de la Baie James.....</i>	<i>34</i>
5.	<i>Conclusion.....</i>	<i>36</i>
6.	<i>Bibliographie.....</i>	<i>38</i>
7.	<i>Annexes</i>	<i>43</i>

Liste des tableaux

Tableau 2-1: Synthèse des changements climatiques projetés par rapport à 1961-1990....	8
Tableau 2-2: Estimation annuelle moyenne des sources, puits et réservoirs du carbone provenant des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, 1980–1989 (Environnement Canada 2006a)	9
Tableau 2-3: Stations climatiques d’Environnement Canada présentes sur le Territoire de la Baie James.....	15
Tableau 3-1: Effet d’une augmentation de la concentration de CO ₂ , de la température sur les différents processus physiologiques (Extrait de Colombo 1998).....	22
Tableau 3-2: Quelques exemples d’impacts socio-économiques du changement climatique (Environnement Canada 2006b)	28
Tableau 4-1: Thèmes de recherche menées sur le Territoire de la Baie James	35
Tableau 5-1: Principaux impacts pour le territoire de la Baie James	37
Tableau 7-1 : Coordonnées des stations climatiques d’Hydro-Québec actives entre 1990 et 2004 et les paramètres mesurés (partie 1)	44
Tableau 7-2 : Coordonnées des stations climatiques d’Hydro-Québec actives entre 1990 et 2004 et les paramètres mesurés (partie 2)	45
Tableau 7-3 : Coordonnées des stations climatiques d’Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 1)	46
Tableau 7-4 : Coordonnées des stations climatiques d’Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 2)	47
Tableau 7-5 : Coordonnées des stations climatiques d’Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 3)	48
Tableau 7-6 : Explication des paramètres mesurés pour le réseau de stations climatiques installé en 2005	49
Tableau 7-7: Les années El Niño et La Niña, 1950-2004.....	50
Tableau 7-8: Les années El Niño et La Niña, 1950-2004.....	51

Liste des figures

Figure 2-1: Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et au cours du dernier millénaire (tiré de IPCC 2001).	4
Figure 2-2: Anomalies des températures pour 2050 par rapport à la période de 1961 à 1990 d'après un scénario ECHAM4 gg1 (CCIS 2006)	6
Figure 2-3: Anomalies des précipitations pour 2050 par rapport à la période de 1961 à 1990 d'après un scénario ECHAM4 gg1 (CCIS 2006)	7
Figure 2-4: Répartitions des gaz à effet de serre au Québec par secteurs d'activités en 2003 (MDDEP 2003).....	11
Figure 2-5: Carte des stations climatiques du Centre d'études nordiques (triangles) et du MDDEP (Autrefois ministère de l'environnement et de la faune (MENF) entre 1970 et 1995 (cercles).....	14
Figure 2-6: Climatogrammes de Matagami (sud du Territoire), Kuujjuarapik-Whapmagoostui (nord du Territoire), Radisson (ouest du Territoire) et Schefferville (à l'est du Territoire mais hors Territoire de la Baie James). Source des données : Stations d'Environnement Canada.....	16
Figure 3-1: Répartitions des régions écoclimatiques au Québec a) de nos jours et b) sous un climat où la concentration en CO ₂ serait 2 fois celle mesurée à l'ère préindustrielle (2 x 280 ppm).....	23
Figure 3-2: Synchronisation phénologique entre les besoins des consommateurs (Vertébrés) et le pic d'abondance de producteurs (végétation ou herbivores associés) lors de la reproduction (adapté de Durant et al. 2005).....	30

Remerciements

Je tiens à remercier Marc Jetten pour les échanges fructueux ainsi que Ginette Lajoie, Guy Demers, Claude Saint-Charles et Annie Déziel pour leurs remarques constructives qui ont permis l'amélioration de ce document.

RECHERCHE ET RÉDACTION : **CÉLINE MEUNIER**

GRAPHISME DE LA PAGE COUVERTURE : **CAROLINE C. DE LÉRY**

PHOTOS DE LA PAGE COUVERTURE : **COOPER DIGITAL PRODUCTIONS**

1. Introduction

La préoccupation des conséquences d'un réchauffement climatique s'est largement répandu depuis 1992, année de la signature du protocole de Kyoto (Japon). Le lien entre la température moyenne de la planète et le taux de gaz carbonique a été énoncé en 1894 pour la première fois par Svante Arrhenius (prix Nobel de Chimie en 1903). C'est en 1979 que l'hypothèse de l'impact de l'activité humaine sur le climat est avancée à l'occasion de la première conférence mondiale sur le climat. Le consensus scientifique est cependant récent. Une controverse plus médiatique que scientifique existe quant à la réalité et aux causes du réchauffement. La plupart des détracteurs de l'hypothèse de l'influence des activités humaines sur le climat sont liés aux grandes industries pétrolières.

Le Comité consultatif pour l'environnement de la Baie James (CCEBJ) a pour rôle, entre autres, de conseiller les gouvernements (de niveaux fédéral, provincial, régional ou local) au sujet de l'administration du régime de protection de l'environnement et du milieu social (chapitre 22 de la Convention de la Baie James et du Nord québécois). À ce titre, le CCEBJ commente les projets de lois, de règlements ou de politiques affectant ce régime. De plus, le Comité surveille l'application du processus d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement et le milieu social; en vertu de ce processus, les projets de développement doivent faire l'objet d'une évaluation, et parfois d'une étude d'impacts, ceci afin de « réduire le plus possible les effets indésirables du développement (...) sur la population autochtone et sur les ressources fauniques » (Convention; al. 22.2.2a).

Dans la mesure où les changements climatiques ont une incidence sur l'environnement et sur le milieu social des Cris, le CCEBJ souhaite mieux comprendre ce phénomène et, s'il y a lieu, proposer des actions aux gouvernements. Ce document-synthèse exposant l'état des connaissances sur les impacts des changements climatiques en général et sur le Territoire de la Baie James en particulier devrait aider le CCEBJ à remplir ce rôle.

Ce document se compose de trois parties. La première partie vise à donner les principaux éléments scientifiques concernant le réchauffement climatique. Les éléments donnés

concernent le climat de la planète, du Canada et du Québec. Cette première partie sur le climat se termine par quelques données climatiques sur le Territoire de la Baie James. La deuxième partie de ce document traite des conséquences du réchauffement climatique sur les ressources en eau, sur les forêts, sur la faune. La compréhension des impacts du réchauffement sur ces différents aspects nécessitent une mise en contexte plus large que le seul Territoire de la Baie James. Enfin la dernière partie de ce document donne quelques pistes d'études à suivre et à mener pour préciser l'influence du réchauffement sur les populations du Territoire de la Baie James.

2. La science du réchauffement climatique

La référence en matière de connaissances sur les changements climatiques est certainement le Groupe Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC ou IPCC en anglais Intergovernmental Panel on Climate Change). Il s'agit d'un organisme créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE). La mission du GIEC est « d'évaluer les informations d'ordre scientifiques, techniques et socio-économiques » dans le but de mieux comprendre les risques liés au changement climatique d'origine humaine. Le GIEC n'entreprend pas de travail de recherche, mais ses publications sont fondées sur les publications scientifiques et techniques dont la valeur scientifique est largement reconnue (IPCC 2007). Le GIEC compte des centaines d'experts issus des universités, des centres de recherche, des entreprises et des associations de défense de l'environnement. Chaque membre du GIEC est accrédité par son propre gouvernement.

Le GIEC procède à intervalles réguliers (tous les 5 à 6 ans) à une évaluation des connaissances relatives au réchauffement climatique. Les plus récents rapports sont publiés cette année en 2007. Ces rapports contribuent entre autre « à la mise en œuvre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ».

Au Québec, le consortium Ouranos, un organisme d'envergure internationale, a été spécialement créé en 2002 pour regrouper et développer l'expertise autour du thème du réchauffement climatique. Cet organisme vise « l'avancement des connaissances en

matière d'enjeux et d'adaptation aux changements climatiques à l'échelle de l'Amérique du Nord » (Ouranos 2007). Le Gouvernement du Québec, le Service météorologique du Canada, Hydro-Québec, des groupes et centre de recherche et les universités travaillent en partenariat avec le consortium Ouranos. Le groupe ArcticNet est aussi un des fers de lance de la recherche sur le climat pour l'Arctique.

Si de nos jours les températures et les précipitations sont enregistrées de façon précise dans de nombreux sites, il n'en a pas toujours été ainsi. Les séries de données issues de thermomètres et de pluviomètres sont relativement récentes (les plus vieilles séries remontent à 300 ans). Les études climatiques demandent souvent de pouvoir connaître le climat des siècles et des millénaires passés. Les données utilisées alors reposent sur des estimations de la température à partir des cernes de croissance des arbres, des bulles d'air emprisonnées dans les carottes de glace ou encore des fossiles des sédiments marins.

2.1 La température

La température de surface de la terre a augmenté en moyenne de 0,6 °C depuis la fin de XIX^e siècle jusqu'à nos jours (Folland et al. 2001)(Figure 2-1a). À l'échelle du dernier millénaire le réchauffement climatique actuel est le plus rapide (Figure 2-1b). Le réchauffement climatique n'est pas constant dans le temps. Depuis 1861 (date la plus ancienne à partir de laquelle des tendances fiables ont pu être établies), deux périodes ont été marquées par un réchauffement de la planète. Ces deux périodes sont de 1910 à 1945 et de 1976 à nos jours. La décennie 1990 a été la plus chaude depuis 1861. L'augmentation de la température de surface la plus élevée est observée au nord du 60^e parallèle où elle atteint 1,3 °C depuis 1880. Le degré de réchauffement varie aussi selon les saisons. Le réchauffement hivernal est supérieur au réchauffement estival (2,2 °C et 0,6 °C, respectivement).

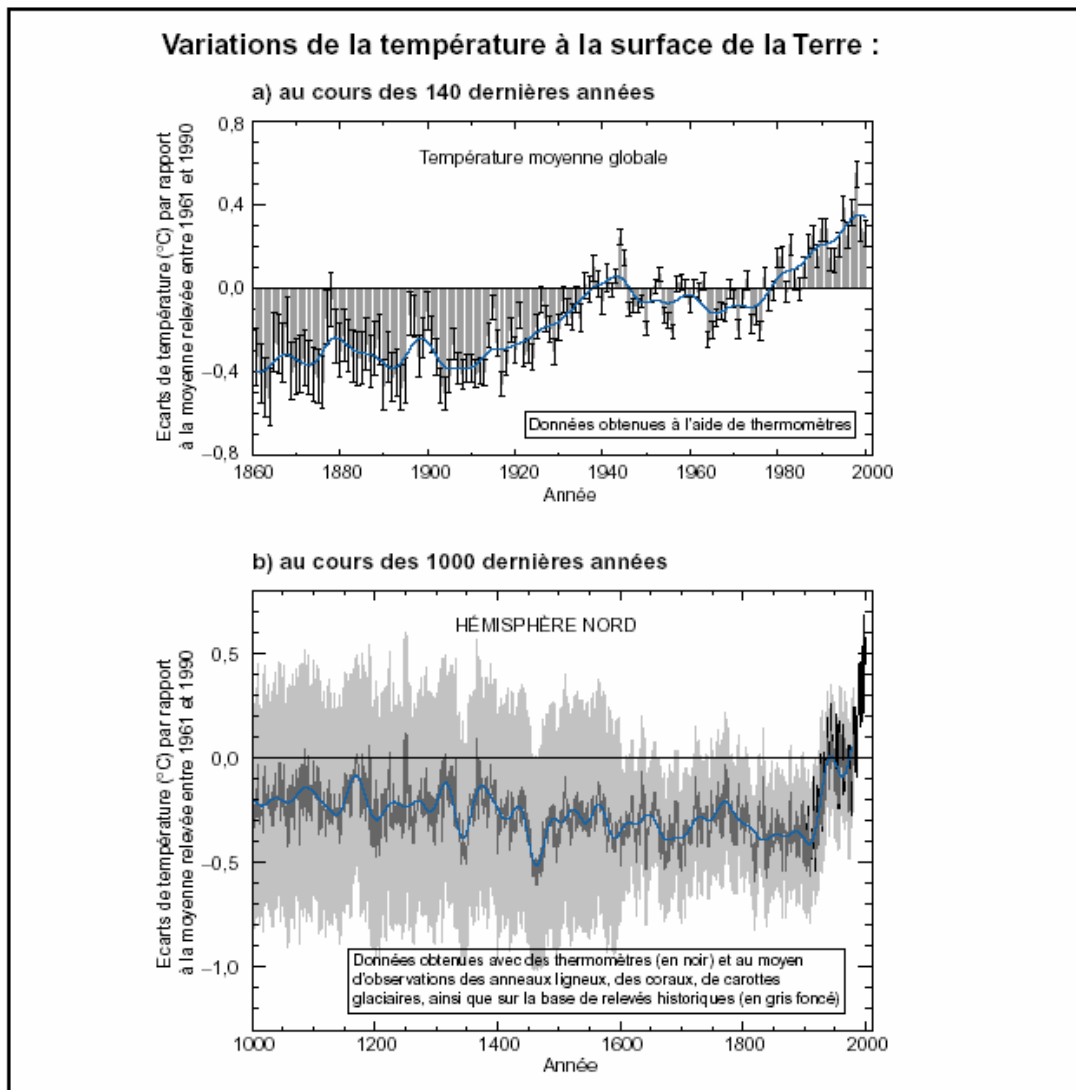


Figure 2-1: Variations de la température à la surface de la Terre au cours des 140 dernières années et au cours du dernier millénaire (tiré de IPCC 2001). **a)** données annuelles de la température (barres grises), incertitudes sur les données annuelles (barres d'incertitudes en noires), moyenne mobile avec une fenêtre de 10 ans (ligne bleue). **b)** variations annuelles de la température (gris foncé et en noir), incertitudes sur les données (gris clair), moyennes sur 50 ans (en bleu)

Pour le Canada, le réchauffement de la température moyenne annuelle est de $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ au cours du dernier siècle (Bonsal et al. 2001), la majeure partie du réchauffement ayant cours l'hiver et le printemps. Au Québec méridional, les études menées dans le cadre du consortium Ouranos ont défini les tendances climatiques pour le Québec méridional à partir de 60 stations climatologiques. Entre 1960 et 2003, la hausse des températures est

particulièrement marquée en hiver et plus variable en été. Le réchauffement est plus élevé pour les températures minimales que pour les températures maximales. Au Québec méridional, l'hiver est de moins en moins froid avec une augmentation de la fréquence des épisodes de gel/dégel. Les saisons chaudes sont de même durée, mais elles sont de plus en plus chaudes. Enfin, les résultats de l'interpolation de ces données amènent à penser que ces tendances au réchauffement sont encore plus accentuées dans le Nord (Yagouti et al. 2006).

2.2 Les précipitations

À l'échelle planétaire, les principales tendances montrent une augmentation de la nébulosité, de la pluviosité et de la concentration totale de vapeur d'eau (IPCC 2001). Une hausse de 5 à 10 % des précipitations a été notée depuis 1900 aux latitudes moyennes et élevées de l'hémisphère Nord. La diminution de la couverture neigeuse et le raccourcissement de la période de gel correspondent au réchauffement de la surface du sol dans l'hémisphère Nord.

Au Canada, l'augmentation des précipitations totales annuelles est observée entre 1960 et 2000 (Zhang et al. 2000). Dans l'Est du pays, les précipitations ont augmenté au printemps et dans le Nord. Les chutes de neige abondantes sont plus importantes en automne et en hiver. L'augmentation des précipitations est évaluée à 1,7 % de la moyenne par décennie dans l'ensemble du Canada entre 1948 et 1995. Au nord du 55 °N l'augmentation des précipitations est nettement supérieure avec une augmentation de 2,3 % de la moyenne par décennie (Mekis et Hogg 1999).

Au Québec, les pluies ont été abondantes pendant la période 1869-1912, mais elles étaient toutefois moindre que celles observées pour les périodes plus récentes (Gosselin et Perrier 2001). Cependant, on ne peut conclure à une augmentation des événements extrêmes, la répartition des pluviomètres ayant trop changée depuis cette époque.

2.3 Les changements climatiques attendus

Les scénarios issus des projections climatiques prévoient une augmentation du niveau des mers de l'ordre de 21 à 70 cm d'ici 2100 selon les modèles (IPCC 2001). Les changements climatiques attendus pour l'Amérique du Nord et le Québec peuvent être visualisés sur le site du projet canadien des scénarios d'impacts climatiques (CCIS 2006). Plusieurs scénarios sont disponibles et permettent de percevoir les anomalies de températures et de précipitations entre un horizon de 2050 et la période de référence de 1961 à 1990 (Figure 2-2 et Figure 2-3). Avec le model ECHAM4 gg1, le changement climatique au Québec, consiste en une augmentation de 4 °C par rapport à la période de 1961 à 1990 (Figure 2-2). Les changements attendus pour les précipitations sont moindres. Dans le sud de la province une légère augmentation des précipitations est projetée et une augmentation plus forte, jusqu'à 30% par jour, est projetée dans le nord de la province d'ici 2050. L'augmentation des précipitations serait plus grande entre 2050 et 2080 (Figure 2-3).

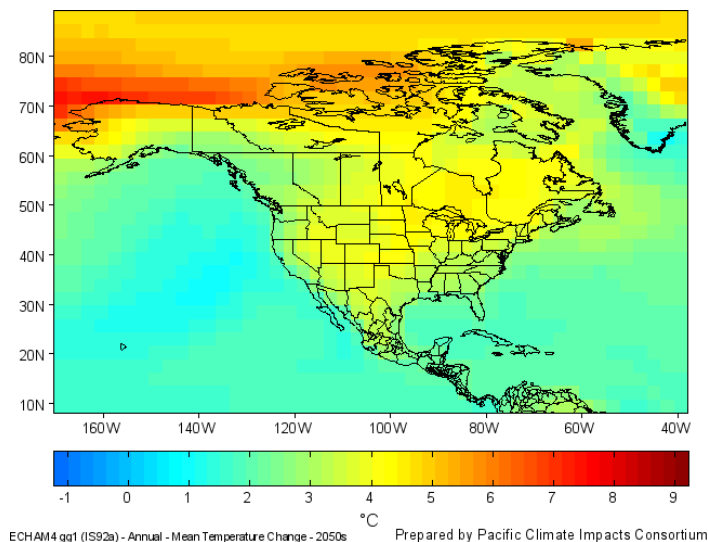


Figure 2-2: Anomalies des températures pour 2050 par rapport à la période de 1961 à 1990 d'après un scénario ECHAM4 gg1 (CCIS 2006)

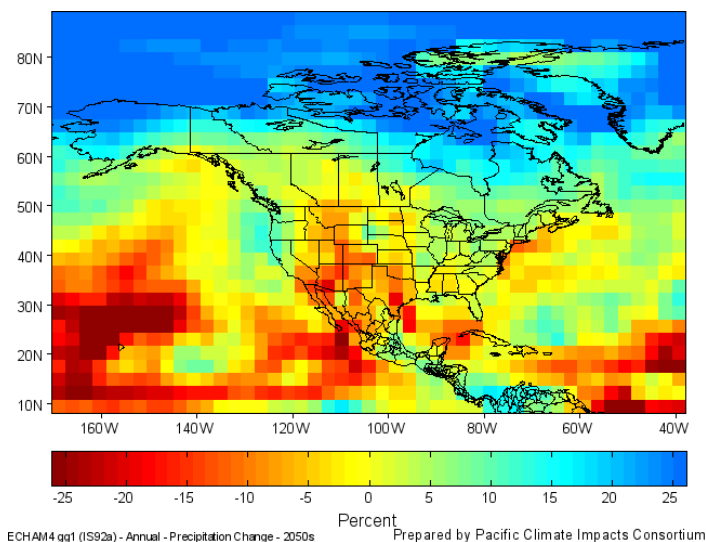


Figure 2-3: Anomalies des précipitations pour 2050 par rapport à la période de 1961 à 1990 d'après un scénario ECHAM4 gg1 (CCIS 2006)

Le réchauffement climatique planétaire :

- Le climat planétaire s'est réchauffé de 0,6 °C depuis la fin du XIXe siècle.
- La décennie 1990 a été la plus chaude du dernier siècle.
- Les modèles prévoient un réchauffement entre 1,8 °C et 4 °C pour les valeurs centrales à la fin du XXIe siècle. Les valeurs extrêmes vont de 1,1 °C à 6,4 °C.
- Les glaciers de montagne déclinent ainsi que ceux du Groenland et de l'Antarctique, tandis que le niveau de la mer s'élève plus rapidement qu'auparavant, de plus de 3 mm par an.

Au Canada et au Québec:

- Le climat s'est réchauffé d'environ 1°C au cours du dernier siècle.
- Le réchauffement est et sera plus marqué dans les régions nordiques.
- Pour le nord du Québec, les modèles prévoient un climat plus chaud et plus humide

(Ouranos 2007)

Tableau 2-1: Synthèse des changements climatiques projetés par rapport à 1961-1990

		Nord du Québec		
		2020	2050	2080
Hiver	Températures	2,5 à 3,5 °C	4 à 7 °C	6 à 12,5 °C
	Précipitations	1 à 18 %	2 à 32 %	5 à 53 %
Été	Températures	1 à 2,5 °C	1,5 à 4 °C	2 à 6 °C
	Précipitations	1 à 12 %	3 à 19 %	5 à 30 %
		Sud du Québec		
		2020	2050	2080
Hiver	Températures	1 à 2,5 °C	2 à 5 °C	3,5 à 8 °C
	Précipitations	-5 à 19 %	0 à 32 %	1 à 43 %
Été	Températures	1 à 2 °C	2,5 à 4 °C	2,5 à 6 °C
	Précipitations	-5 à 10 %	-7 à 14 %	-11 à 150 %

Source : http://www.ouranos.ca/intro/IPCC2007_f.html

2.4 Les facteurs d'accélération et de ralentissement (sources et puits de carbone)

Parmi les facteurs d'accélération du réchauffement climatique, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre due aux activités humaines est le principal facteur (IPCC 2007). Les gaz à effet de serre emprisonnent la chaleur à la surface de la terre. Les principaux gaz à effets de serre sont le dioxyde de carbone (CO₂), le méthane (CH₄), l'ozone (O₃), l'oxyde nitreux (N₂O) et la vapeur d'eau (H₂O gazeux). Ces gaz sont présents naturellement dans l'atmosphère et permettent d'avoir une température moyenne de surface de la planète de 15 °C. Sans ces gaz, cette température est estimée à -18 °C (IPCC 2001). Cependant, l'industrialisation, l'utilisation des carburants fossiles et la déforestation ont contribué à augmenter la concentration des gaz à effet de serre de 280 parties par million (ppm) depuis le milieu du XIX^e siècle à 380 ppm aujourd'hui (IPCC 2001). L'augmentation des gaz à effets de serre est exponentielle depuis l'ère industrielle (IPCC 2001).

Les principales sources et puits de carbone constituent respectivement des facteurs d'accélération et de ralentissement des changements climatiques (Tableau 2-2).

Tableau 2-2: Estimation annuelle moyenne des sources, puits et réservoirs du carbone provenant des émissions anthropiques de dioxyde de carbone, 1980–1989 (Environnement Canada 2006a)

A. Sources	
	Estimation (plage)^a (gigatonnes/an)
Émissions provenant de la combustion de combustibles fossiles et de la production de ciment	5,5 (5,0–6,0)
Émissions nettes provenant de changements dans l'utilisation des terres tropicales	1,6 (0,6–2,6)
Total	7,1 (6,0–8,2)
B. Puits	
	Estimation (plage)^a (gigatonnes/an)
Stockage dans l'atmosphère	3,2 (3,0–3,4)
Absorption par les océans	2,0 (1,2–2,8)
Absorption par la seconde pousse des forêts de l'hémisphère Nord	0,5 (0,0–1,0)
Puits terrestres supplémentaires (fertilisation par le dioxyde de carbone, fertilisation par l'azote, effets climatiques) ^b	1,4 (0,0–2,9)
Total	7,1
^a Les limites supérieure et inférieure correspondent à un intervalle estimatif de confiance de 90 %.	
^b La fertilisation par le dioxyde de carbone et celle par l'azote constituent des puits supplémentaires lorsque des augmentations des concentrations atmosphériques de dioxyde de carbone et d'oxydes d'azote provenant d'émissions anthropiques fournissent un supplément d'éléments nutritifs nécessaires aux plantes dans les écosystèmes touchés. Des rétroactions climatiques se produisent lorsque des changements au niveau de la température, des précipitations ou d'autres variables climatiques améliorent les conditions de croissance des plantes et favorisent en conséquence l'accumulation de la biomasse.	
Source : GIEC, 1995.	

Outre les gaz à effets de serre, les aérosols (particules en suspension dans l'atmosphère) ont un effet sur le rayonnement solaire. La suie et les sulfates comptent parmi les aérosols. Ces particules participent à l'abaissement de la température de surface, soit en absorbant le rayonnement solaire incident (suie) dans les basses couches de l'atmosphère, ou en dispersant et en réfléchissant la lumière incidente (aérosols sulfatés) et en favorisant la formation de nuages. La présence des aérosols réduit l'effet des gaz à effet de serre, mais ils ne sauraient les compenser.

Au Canada, les émissions de gaz à effets de serre étaient de 740 Mégatonnes (Mt) équivalent CO₂ en 2003. Le Québec est responsable de 12,3 % de ces émissions soit 91,0 Mt équivalent CO₂ (en 2003) ce qui correspond à une moyenne de 12,1 tonnes par habitant. À lui seul, le secteur des transports contribue à 34 Mt eq CO₂ soit 37,4 % des émissions (Figure 2-4).

Pour calculer les émissions d'un territoire, il existe des formules en fonction du type de véhicules et du nombre de kilomètres parcourus en ville ou sur des longues distances. Les émissions moyennes pour des véhicules légers sont de 2400 kg de CO₂ pour 10 000 km (Energuide 2006). Les véhicules plus lourds consomment plus. Sur le Territoire de la Baie James plus de 20 000 véhicules de tous genres sont en circulation. Une approximation rapide (basée sur les chiffres mentionnés ci-haut) estime à 0,5 Mt de CO₂ les émissions dus aux transports routiers sur ce territoire. Cependant, un calcul juste des émissions de CO₂ sur le Territoire de la Baie James devrait prendre en compte le type de véhicule et le kilométrage de ces véhicules.

À titre de comparaison, les émissions moyennes de CO₂ par type de transport :

- **transport aérien** : 0,85 kg de CO₂ par kilomètre et par passager (si l'avion est complet),
- **transport routier** : 0,20 kg de CO₂ par kilomètre et par passager (dans le cas d'un occupant par véhicule)
- **transport par autobus** : 0,07 kg par kilomètre et par passager (si l'autobus est complet)

(Environnement Canada 2005)

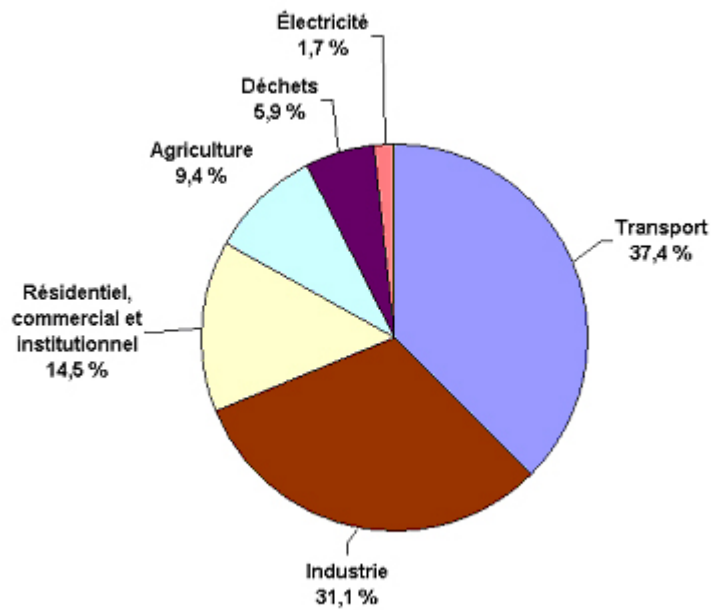


Figure 2-4: Répartitions des gaz à effet de serre au Québec par secteurs d'activités en 2003 (MDDEP 2003)

La principale cause : les gaz à effet de serre (GES)

- « L'essentiel de l'augmentation observée des températures moyennes depuis le milieu du XXe siècle est très probablement dû l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre engendrées par l'homme » c'est à dire avec une probabilité supérieure à 90 %
- La concentration en gaz carbonique dans l'atmosphère « dépasse de loin » ce qui a été observé depuis 650 000 ans. Il en va de même du méthane.

(IPCC 2007)

2.5 Les impacts spécifiques aux milieux nordiques

Les scénarios climatiques suggèrent que le réchauffement climatique sera plus marqué dans les régions nordiques. Cela se traduit déjà dans le Nord canadien par la fonte du pergélisol, une période d'enneigement plus courte et une période d'englacement abrégée. Les conséquences sur les infrastructures comme les bâtiments résidentiels et les aéroports sont étudiées par les équipes d'Environnement Canada, de Transports Canada, de Transports Québec, d'Ouranos et du Centre d'études nordiques de l'Université Laval. Par ailleurs, ce réchauffement a aussi un effet sur la diminution de la durée et de l'épaisseur du couvert de glace des lacs et des rivières. Ce phénomène rend la traversée des cours d'eau à haut risque en des périodes stratégiques de l'année où la faune est disponible pour la chasse et la trappe. Une étude est en cours au Nunavik sous l'égide de l'Administration régionale Kativik avec le soutien d'Environnement-Canada par l'entremise du programme des Initiatives écosystémiques nordiques, d'Ouranos et d'Arcticnet.

2.6 Le Territoire de la Baie James et le climat

Le Territoire de la Baie James est un vaste territoire qui s'étend sur plus de 350 000 km² soit un cinquième du territoire du Québec. Ce territoire est compris approximativement entre les 49° et 55° parallèles. Il est limité à l'ouest par la Baie James et la Baie d'Hudson et à l'est par la ligne de partage des eaux des Monts Otish vers les bassins du Saint-Laurent et de la baie James. Le territoire de la Baie James se situe dans la zone éoclimatique boréale (MRN 2005). La population du territoire de la Baie James comprend quelques 30 000 personnes. Neuf villages cris se trouvent sur le territoire :

Whapmagoostui, Chisasibi, Wemindji, Eastmain, Waskaganish, Nemaska, Waswanipi, Ouje-Bougoumou et Mistissini. Les autres villages se trouvent principalement au sud du territoire de la Baie James (Chibougamau, Chapais, Lebel-sur-Quévillon, Matagami, Radisson, Val Canton et Villebois). Dans la région administrative du Nord-du-Québec plus de 50 % de la population a moins de 30 ans (données 2004).

2.6.1 Les données climatiques disponibles

Plusieurs stations climatiques sont installées sur le Territoire de la Baie James. Le Centre d'études nordiques a ses propres stations climatiques depuis 1995, Hydro-Québec depuis les années 1980, le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) en des périodes variées entre 1970 à 1995, et Environnement Canada depuis les années 1920. Ces stations ont été cartographiées (Figure 2-5), à l'exception des stations d'Hydro-Québec¹. Hydro-Québec possédait un réseau de stations météorologiques sur le Territoire de la baie james. Ces stations ont été actives de 1995 à 2004 (Marie-Josée Doray Hydro-québec comm. pers.). La qualité de l'historique des observations météorologiques recueillies par ce réseau oscille de passable à inutilisable (Enviromet International Inc. 2003). C'est pourquoi Hydro-Québec a installé depuis 2005, un nouveau réseau installé répondant aux normes internationales de l'organisation mondiale de météorologie. Les coordonnées de du réseau actif de 1990 à 2004 et les paramètres météorologiques mesurés sont présentés en annexe dans les tableaux 7-1 à 7-2. Les coordonnées des stations du nouveau réseau et les paramètres mesurés sont indiqués en annexe dans les tableaux 7-3 à 7-6.

Une liste des données disponibles par station sur le Territoire de la Baie James doit être réalisée au Centre d'études nordiques. La carte ci-dessous ne montre pas toutes les stations d'Environnement Canada présentes sur le Territoire de la Baie James, mais la plupart sont recensées plus loin (Tableau 2-3).

¹ Voir en annexe pour la liste des stations climatiques d'Hydro-Québec.

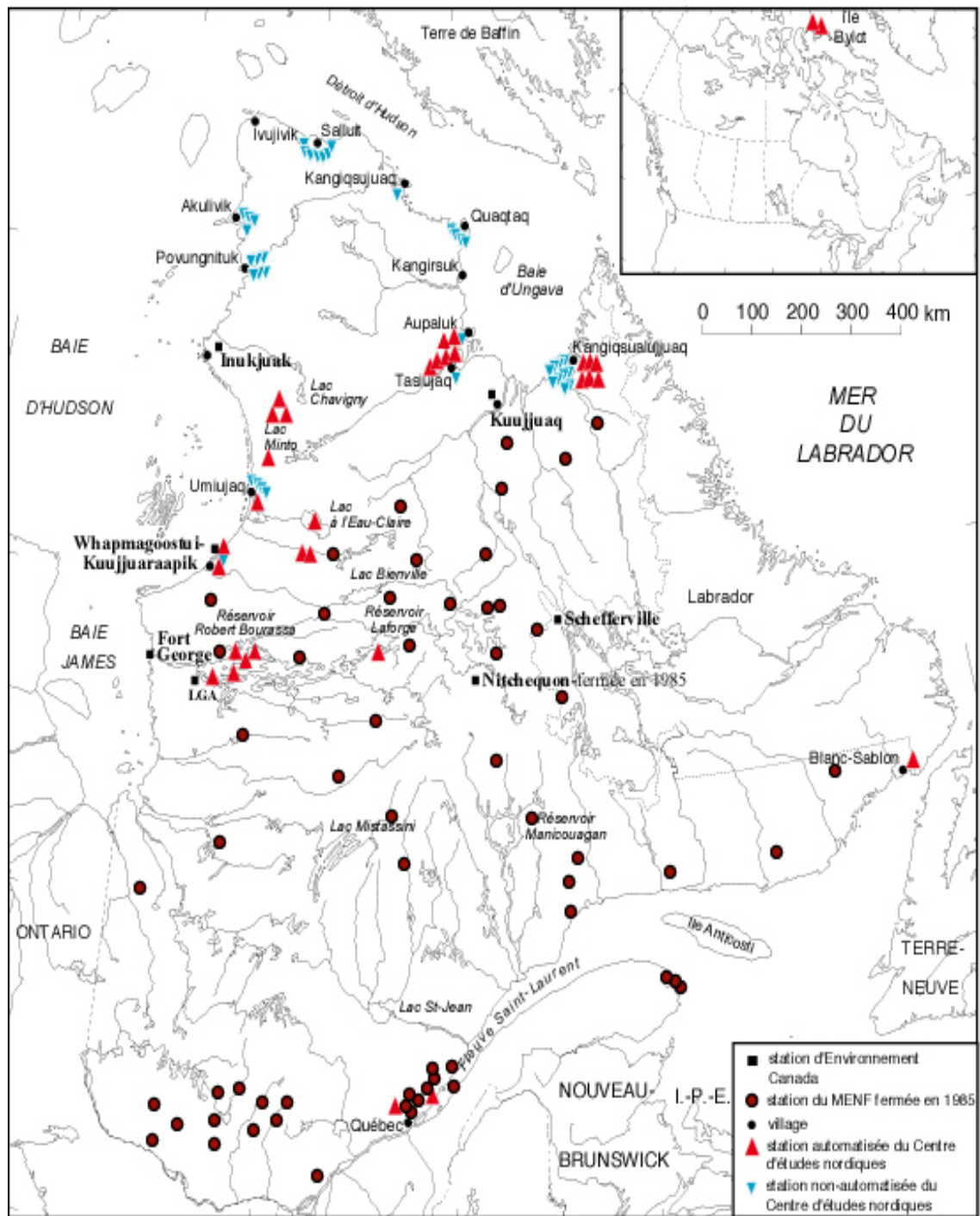


Figure 2-5: Carte des stations climatiques du Centre d'études nordiques (triangles) et du MDDEP (Autrefois ministère de l'environnement et de la faune (MENF) entre 1970 et 1995 (cercles).

Tableau 2-3: Stations climatiques d'Environnement Canada présentes sur le Territoire de la Baie James

Nom de la station	Latitude	Longitude	Altitude
* BONNARD	50°44' N	71°03' O	506 m
* CHAPAIS 2	49°47' N	74°51' O	396 m
HEMON	49°04' N	72°36' O	183 m
JOUTEL	49°28' N	78°18' O	290 m
* KUUJJUARAPIK A	55°17' N	77°45' O	10 m
LA GRANDE RIVIERE A	53°38' N	77°42' O	195 m
MATAGAMI A	49°46' N	77°49' O	281 m

Note : les * marquent les stations qui répondent aux normes de l'Organisation météorologique mondiale.

2.6.2 Les variations spatiales du climat sur le Territoire de la Baie James

Les principales différences spatiales du climat de la Baie James peuvent se résumer ainsi (Figure 2-6):

- Le sud du Territoire de la Baie James est plus chaud et plus humide que le nord
- Le sud et l'est du Territoire reçoivent plus de précipitations solides et liquides que l'ouest et le nord

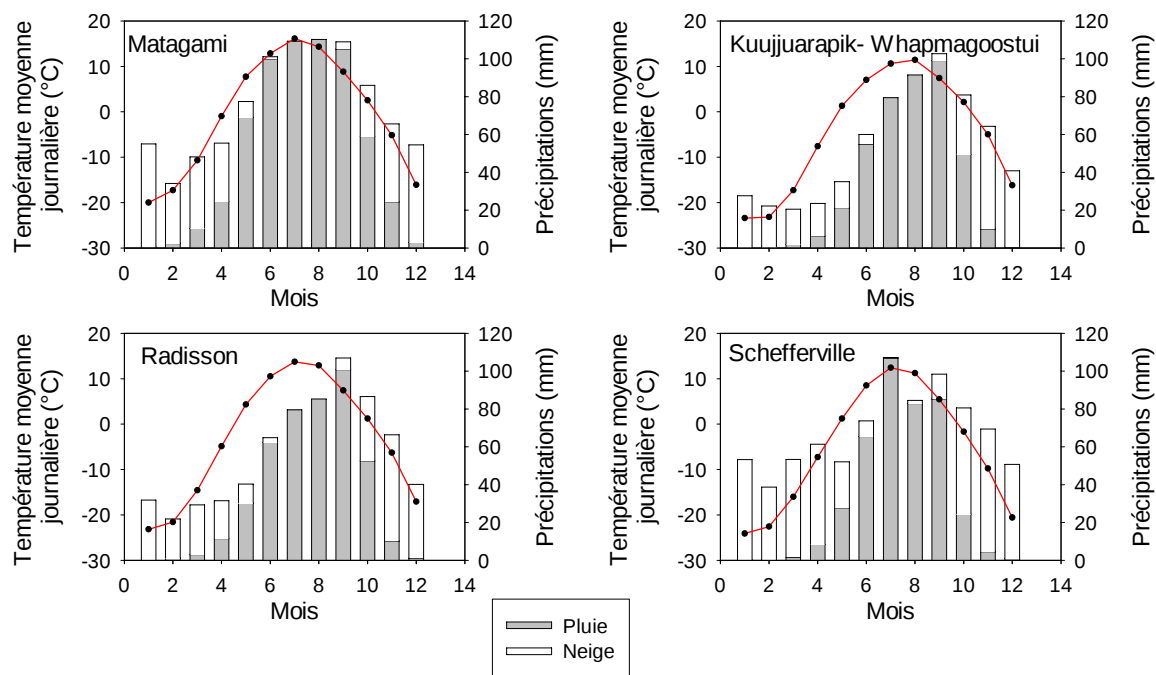


Figure 2-6: Climatogrammes de Matagami (sud du Territoire), Kuujjuarapik-Whapmagoostui (nord du Territoire), Radisson (ouest du Territoire) et Schefferville (à l'est du Territoire mais hors Territoire de la Baie James). Source des données : Stations d'Environnement Canada

2.6.3 Les principales tendances climatiques

Les tendances climatiques observées pendant la période 1970-2002 montrent une augmentation de la température moyenne annuelle de 1 à 1,5 °C. La somme thermique (degrés-jours > 5 °C) a augmenté de 100 à 140 degrés-jours pendant cette même période dans la zone de la forêt boréale (Meunier 2006). Le réchauffement est particulièrement notable depuis le milieu des années 1990.

Les modèles climatiques suggèrent une augmentation des températures d'environ 4 °C pour le Territoire de la Baie James, et une augmentation des précipitations de 2 à 32% par jour d'ici 2050 (CCIS 2006)

3. Conséquences des changements climatiques

3.1 *Les ressources en eau*

Les changements climatiques annoncés devraient influencer la fréquence d'évènements « El Niño » et « La Niña ». Les évènements « El Nino » qui apportent des conditions hivernales plus sèches au Canada, devraient être plus persistants et plus fréquents. Ces années « El Nino » devraient être ponctuées d'années de pluies abondantes sous les effets des « La Nina ». Déjà la fréquence des évènements El Niño et la Niña a augmenté au cours du XXIème siècle et leur intensité paraît plus élevée dans les années 1980 et 1990 que dans les années 1950 (Tableau 7-7 et Tableau 7-8)(Environnement Canada 2007).

À titre d'exemple, des études menées dans la région des Grands lacs Canado-américains montrent les implications du réchauffement climatique pour le débit des rivières, les eaux souterraines, l'approvisionnement en eau dans les grandes plaines et le niveau des Grands Lacs. Bon nombre des systèmes de lacs et de rivières dont les niveaux et les débits baisseraient, en moyenne, sont parmi les plus abondamment utilisés au Canada et sont également partagés avec les États-Unis. On a déjà remarqué que les débits minimums et les niveaux des basses eaux en été et au début de l'automne avaient baissé dans le Centre-Sud de la Colombie-Britannique depuis 1995 (Leith et Whitfield 1998) et dans le Sud des Prairies depuis 1993 (Yulianti et Burn 1998). On peut donc croire que les mesures de conservation de l'eau seront importantes, surtout dans des cas de forte consommation tels que celui de l'irrigation. On risque également de voir baisser, à long terme, le taux de réalimentation des eaux souterraines dans le sud du Canada.

Pour les rivières du nord du Québec, qui restent généralement couvertes de glace l'hiver, la rupture des glaces et les inondations qui s'ensuivent pourrait survenir pendant l'hiver plutôt qu'au printemps (Clair et al. 1997).

Les changements climatiques pourraient augmenter le débit des rivières, et le niveau des eaux souterraines sur le Territoire de la Baie James. Le risque d'embâcle pourrait être plus important en hiver.

3.2 *Les zones côtières*

La hausse des niveaux marins suite à la fonte des glaciers et des calottes polaires augmente la sensibilité des zones côtières. En effet, les zones côtières seront plus susceptibles de subir des inondations, de l'érosion, la migration des plages et la déstabilisation des dunes littorales (Ressources naturelles Canada 2006c). Au Canada, deux zones sont particulièrement à risque : la Canada Atlantique et certaines parties de la côte de la mer de Beaufort. Les côtes des baies James et d'Hudson présentent une sensibilité faible à moyenne (Environnement Canada - L'Atlas du Canada). Elles sont progressivement soustraites de ces effets par suite du relèvement isostatique encore rapide dans la région.

Les **zones côtières** de la Baie James présentent une **faible sensibilité aux changements climatiques** en partie parce que le relèvement isostatique est encore rapide dans la région.

3.3 *La forêt*

Les forêts absorbent et libèrent une grande quantité de CO₂. Une forêt en croissance constitue un puits de carbone alors qu'une forêt mature est en équilibre avec l'atmosphère sur le plan des échanges de carbone. C'est l'activité photosynthétique qui permet l'absorption de CO₂. Les facteurs climatiques qui influent sur le taux de photosynthèse sont l'intensité de la lumière, la température de l'air, la disponibilité en eau, la concentration atmosphérique de CO₂, la présence de polluants atmosphériques et les conditions du sol (Kozłowski et Pallardy 1997). Nous examinerons dans les prochains paragraphes les principaux éléments modifiés par le réchauffement climatique attendu.

3.3.1 **Impacts des changements climatiques sur la physiologie des forêts**

L'augmentation des gaz à effets de serre et notamment du CO₂ depuis les 150 dernières années, le réchauffement et l'augmentation des précipitations devraient avoir des

conséquences sur les processus physiologiques des plantes. Cependant, l'action combinée de ces différents facteurs est difficilement prévisible (Forget et al. 2003).

3.3.1.1 La concentration en CO₂

Certains processus physiologiques seraient favorisés par l'augmentation de la concentration en CO₂ (Tableau 3-1). Ainsi, les plantes seraient plus efficaces pour utiliser la lumière, l'eau et des nutriments. Par contre la photorespiration serait moins efficace. Compte tenu que la croissance des espèces arborescentes est souvent limitée par la disponibilité en CO₂, l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre devrait avoir un effet positif (Kirshchbaum 2000). Cependant l'effet positif du CO₂ sur la croissance dépend fortement de la disponibilité en nutriment du sol (Drake *et al.* 1997; Kirshchbaum 2000). De plus, l'effet positif du CO₂ sur la croissance dépend des espèces considérées et des stades de développement. Les espèces les plus favorisées par une augmentation de CO₂ sont les espèces herbacées annuelles et les herbacées vivaces. Les espèces les moins favorisées sont les conifères et les espèces arborescentes de fin de succession (érable, bouleau jaune, épinette blanche et pin blanc). Les arbres les plus jeunes bénéficieront plus de la fertilisation par le CO₂ que les arbres plus vieux (Papadocol 2000).

Il est important de mentionner que les effets positifs du CO₂ sur la croissance des arbres pourraient être annulés par les effets négatifs de certains gaz comme l'ozone (O₃) ou le dioxyde de soufre (SO₂) (Isebrands et al. 2001). Des études menées sur le peupliers faux-tremble montrent que la productivité de cet arbre est déjà diminué par les concentrations actuelles d'ozone dans l'air (Percy et al. 2002).

Pour l'épinette noire l'espèce dominante de la forêt boréale québécoise, les conséquences d'un doublement de CO₂ sont :

- Le débourrement hâtif des bourgeons aux printemps
- La tolérance au froid des jeunes bourgeons est plus grande au début de l'automne
- Une régulation de l'activité photosynthétique

(Bertrand et Bigras 2006)

3.3.1.2 La température

L'ensemble des processus physiologiques sont affectés par l'augmentation de la température (Tableau 3-1). Généralement la température favorise l'activité photosynthétique mais aussi la respiration. Le bilan net de flux de carbone finit cependant par plafonner pour diminuer dans le cas d'une hausse continue de température (Kirshchbaum 2000).

Les effets de la température sur la croissance varient selon les espèces. Ainsi, si la croissance de l'érable à sucre (Courchesne et al. 2001), et du pin gris (Brooks et al. 1998) sont favorisés, une augmentation de la température peut mener à la réduction de la longueur de la pousse terminale chez le sapin Douglas (Olszyk et al. 1998).

- De façon générale et pour le territoire québécois une augmentation de la température devrait favoriser la croissance des arbres.

- Pour l'épinette noire et le pin gris, les espèces dominantes sur le Territoire de la Baie James, la croissance radiale est positivement corrélée avec un début de saison hâtif (Hofgaard et al. 1999).

3.3.1.3 Les précipitations

L'influence d'un stress hydrique dépend du processus physiologique considéré. Ainsi l'activité photosynthétique, l'efficacité de l'utilisation de la lumière diminue avec la sécheresse alors que la photorespiration, la respiration, l'efficacité de l'utilisation de l'eau et la susceptibilité des arbres aux insectes et maladies augmentent dans ces mêmes conditions de stress hydrique.

- Pour l'épinette noire, une étude menée dans l'Ouest du Québec montre qu'une hausse des précipitations en juin aurait un effet bénéfique sur la croissance radiale de l'épinette (Hofgaard et al. 1999).

- Dans le nord du Québec (au nord du 50°N), l'augmentation des précipitations pourrait compenser la hausse potentielle de l'évaporation causée par l'augmentation des températures (Forget et al. 2003).

Tableau 3-1: Effet d'une augmentation de la concentration de CO₂, de la température sur les différents processus physiologiques (Extrait de Colombo 1998)

Processus physiologiques	Augmentation de la concentration de CO ₂	Augmentation de la température
Photosynthèse	Hausse sujette à des rétroactions liées aux ressources disponibles	Hausse sujette à des rétroactions liées aux ressources disponibles
Photorespiration	Baisse (généralement)	Hausse
Respiration nocturne	Baisse légère	Hausse
Conductivité stomatale	Baisse	Hausse jusqu'à des températures de 30-35 °C
Efficiencia d'utilisation de la lumière	Hausse	Aucun changement
Efficiencia d'utilisation de l'eau	Hausse	Baisse
Efficiencia d'utilisation nutritionnelle	Hausse	Aucun effet
Phénologie	Raccourcissement de la saison de croissance dû à un débourrement plus tardif et/ou un embourgeoisement plus hâtif	• Débourrement hâtif au printemps • Endurcissement du bourgeon plus tardif
Allocation du carbone / structure de l'arbre	• Augmentation des taux de croissance • Réduction de la densité stomatale • Hausse de la croissance racinaire	• Hausse des taux de croissance • Débourrement et fleuraison plus hâtifs
Susceptibilité au stress	Hausse de la tolérance à la sécheresse due à la fermeture des stomates	Hausse des dommages potentiels par le gel hivernal et printanier.

Les effets de l'augmentation de la concentration de CO₂, et de la température sur les processus physiologiques des plantes peuvent avoir des conséquences positives ou négatives selon les processus considérés. Globalement, les plus récents rapports du GIEC (IPCC) considèrent que la forêt boréale serait favorisée avec une augmentation de 2 à 3 °C, cependant au-delà de 3 °C l'écosystème boréal serait alors grandement défavorisé.

3.3.2 Migrations des espèces déplacements des écosystèmes

Les études paléoécologiques ont montré que la répartition des écosystèmes étaient liée au climat (Delcourt et Delcourt 1988). A l'instar des études menées sur les changements du climat et de la végétation il y a plusieurs milliers d'années, on peut s'interroger sur l'impact du réchauffement climatique actuel sur la composition et la répartition des écosystèmes actuels. En ce sens, les études de Rizzo et Wilken (1992) et de Luckman et Kavanagh (2000) nous amènent à penser que les habitats des espèces se déplacent vers le nord et en altitude. Les études paléoécologiques nous ont montré que ce ne sont pas les écosystèmes qui migrent mais bien les espèces de façon individuelle. Cependant, la vitesse à laquelle le réchauffement actuel se produit est sans précédent, ce qui rend difficile les projections quant à la migration des espèces. Ce sont les modèles statistiques décrivant les paysages qui s'avèrent les plus performants pour anticiper les changements. Un exemple couramment cité dans les documents gouvernementaux est présenté ci-dessous.

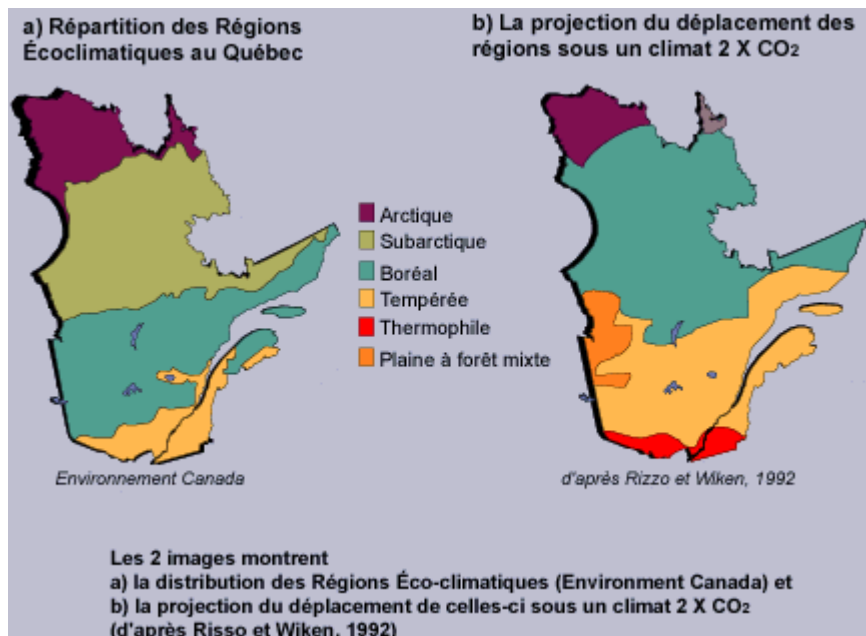


Figure 3-1: Répartitions des régions éoclimatiques au Québec a) de nos jours et b) sous un climat où la concentration en CO₂ serait 2 fois celle mesurée à l'ère préindustrielle (2 x 280 ppm).

Cependant on peut s'interroger sur le bienfondé d'une carte uniquement basé sur des projections climatiques. La dynamique des écosystèmes forestiers est plus complexe et ne réagit pas uniquement à la température mais aussi aux précipitations et à la fréquence des perturbations. De plus, il faut aussi tenir compte des différentes phases de la dynamique forestière soit la production de graines, l'installation des plantules et la croissance des individus.

Les conséquences pour les écosystèmes forestiers :

- Des changements significatifs du potentiel des habitats pour les espèces d'arbres sont attendus et pourraient mener à une nouvelle composition des communautés végétales au Québec (Rizzo et Wilken 1992)
- La vitesse des changements climatiques est sans précédent et pourrait mener à la disparition locale ou à l'extinction d'espèces ayant une faible capacité de dispersion ou une aire de dispersion limitée (Thompson et al. 1998)
- La capacité des espèces à migrer en réponse aux changements climatiques sera fortement influencée par les contraintes autoécologiques des espèces telles que la dispersion des semences, et par des facteurs comme la fragmentation des forêts, les pratiques de régénération et le régime de perturbations (Flannigan et al. 2001)

tiré de Forget et al 2003

3.3.3 Les perturbations naturelles

Les perturbations naturelles comme les épidémies et les feux de forêts ont une grande influence sur la dynamique forestière des forêts boréales. L'analyse de l'impact des changements climatiques sur la forêt boréale au Québec nécessite de comprendre comment les changements climatiques peuvent influencer sur la fréquence et l'intensité de ces perturbations naturelles.

3.3.3.1 Les incendies

L'impact de l'augmentation des températures sur les feux de forêts est difficile à prévoir. Si au début des années 1990, il était admis qu'une hausse de température augmenterait l'occurrence des feux (Overpeck *et al.* 1990; Flannigan et Van Wagner 1991; Clark 1998), des propos d'un spécialiste en ce domaine (Dr Flannigan) rapporté sur le site de Ressources naturelles Canada montrent que les conclusions sont difficiles à tirer : « On peut prévoir une augmentation de 50 % des feux de forêts au Canada d'ici l'année 2050, mais ce chiffre pourrait s'avérer complètement incorrect » (Info-forêts 2001).

Au Québec, la plupart des études réalisées sur ce sujet l'ont été dans la région du lac Duparquet en Abitibi par l'équipe du Dr Yves Bergeron. Ces études montrent qu'une hausse de la température pourrait être plus que compensée par une augmentation de l'abondance et une meilleure répartition temporelle des précipitations (Bergeron 1998).

Les travaux actuels de l'équipe du Dr Yves Bergeron visent à évaluer l'influence des changements climatiques sur le rendement des forêts afin de faciliter l'adaptation des intervenants forestiers aux conséquences futures possibles. Les cinq principaux objectifs sont de (i) quantifier les relations entre le climat et la croissance radiale pour deux espèces commerciales majeures soit le peuplier faux-tremble et l'épinette noire, et projeter dans l'avenir, les croissances espérées suite aux changements climatiques anticipés; (ii) déterminer les relations entre le climat et la fréquence des feux et projeter dans l'avenir, les fréquences prévues suite aux changements climatiques anticipés; (iii) évaluer comment les changements climatiques affecteront la croissance et la distribution des deux espèces en fonction d'un gradient topographique de drainage et à utiliser ces résultats pour rendre les équations de croissance des tables de rendement sensibles au climat; (iv) simuler différents scénarios pour une unité d'aménagement en tenant compte de l'effet des changements climatiques sur la croissance et les feux et (v) accompagner les intervenants afin de maximiser l'adaptation des pratiques sylvicoles en fonction des changements climatiques.

Sous un scénario où le taux de CO₂ serait doublé, des études prévoient d'une part un allongement de la saison des incendies de 27 jours pour le Québec (Wotton et Flannigan 1993) et d'autre part que cette saison débiterait plus tôt (Stocks et al. 1998).

Cependant les modèles globaux qui sont à la base des simulations climatiques utilisées pour établir le risque d'incendies montrent un risque accru d'incendies pour le Territoire de la Baie James. Ainsi, la carte produite par Brian Stocks et ses collègues du Service canadien des forêts (Ressources naturelles Canada 2006a) indique que le risque d'incendie s'accroît au XXI^e siècle pour le territoire de la Baie James. Ainsi, l'indice de risque d'incendies était de 1 à 2 (sur une échelle de 0 à 6) pour la période 1980-1989 et atteint des valeurs de 2 à 4 selon les endroits sur le Territoire de la Baie James pour la période 2090-2099 (Environnement Canada – Atlas du Canada).

Il est très difficile de prévoir **l'impact des changements climatiques sur le risque d'incendie**. L'augmentation des précipitations pourrait permettre de réduire les risques d'incendie mais les modèles établis par Ressources naturelles Canada indiquent un risque accru pour le Territoire de la Baie James.

3.3.3.2 Les épidémies

En forêt boréale, les épidémies les plus dommageables pour le couvert forestier sont causées par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Le réchauffement climatique attendu pourrait avoir un effet positif sur la reproduction des insectes et sur leur développement (Lysyk 1989). Les hivers plus doux pourraient également favoriser la survie de certains insectes ravageurs (Williams 1995). Compte tenu de la migration plus rapide des insectes, un des risques du réchauffement climatique est l'invasion d'insectes exotiques dans l'aire de répartition des forêts tempérées et boréales (Dale et al. 2001). Cependant, il reste difficile de prévoir l'incidence de ces épidémies sur le paysage forestier. Les modifications de la composition végétale dues aux changements climatiques diffèrent selon que les modèles tiennent compte ou non de l'effet des insectes ravageurs (Niemela et al. 2001). Enfin, les pertes ligneuses dues à l'herbivorie des insectes ravageurs entraînent un flux de carbone vers l'atmosphère ce qui pourrait exacerber le réchauffement (Volney et Fleming 2000).

Le réchauffement climatique devrait favoriser les épidémies d'insectes et l'invasion des écosystèmes par des insectes ravageurs exotiques.

3.3.4 Impacts socio-économiques

Les changements phénologiques des écosystèmes forestiers causés par les changements climatiques peuvent avoir des conséquences sur le milieu social en rapport avec l'utilisation des forêts (Tableau 3-2).

Tableau 3-2: Quelques exemples d'impacts socio-économiques du changement climatique (Environnement Canada 2006b)

Impacts physiques	Impacts socio-économiques
Changements dans la productivité des forêts	Changements de la production de bois d'oeuvre et de la valeur locative
Augmentation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère	Introduction de politiques d'atténuation du crédit-permis de carbone qui créent un marché de séquestration du carbone
Augmentation des perturbations	Perte de produits forestiers et de biens non commerciaux
Déplacement des écozones vers le nord	Changements dans la valeur des terres et dans les options d'utilisation des terres
Changements climatiques et écosystémiques	Restructuration économique engendrant des tensions sociales et individuelles et d'autres pathologies sociales
Changements des écosystèmes et des espèces spécialisées	Changements dans les valeurs non commerciales
Changements des écosystèmes	Désintégration des parcs et des réserves naturelles, accroissement des différends sur l'utilisation des terres

3.4 Les tourbières

Les tourbières sont un élément important du paysage canadien puisqu'elles couvrent 14% de la superficie terrestre du Canada (Ressources naturelles Canada 2006b). Les tourbières sont des zones où des matières végétales en décomposition se sont accumulées en surface jusqu'à des profondeurs de plus de 40 cm ». Les tourbières ont un rôle écologique important de régulation du réseau hydrographique. L'eau est emmagasinée dans ces milieux humides et réapprovisionne les aquifères lentement. Ces processus aident à réduire les débits des rivières lors d'inondations et permet leur maintien pendant les sécheresses. De plus, les tourbières sont un habitat pour nombre d'espèces fauniques et notamment la sauvagine. Enfin, les milieux humides retiennent les contaminants. En rapport avec les changements climatiques, les tourbières sont actuellement de très grands puits de carbone mais dans un climat plus chaud le carbone emprisonné pourrait être libéré et donc accentuer le réchauffement (Ressources naturelles Canada 2006b).

Les tourbières constituent **actuellement** des sites qui diminuent le CO₂ atmosphérique (**puits de carbone**) mais elles **pourraient devenir des sources** de gaz à effet de serre sous l'effet du réchauffement annoncé.

Des études sont menées actuellement sur le Territoire de la Baie James pour évaluer l'impact des changements climatiques sur ces écosystèmes complexes. Trois secteurs de 150 km² ont été retenus dans les régions de LG1, LG2 et LG3 à l'intérieur desquels plusieurs types de tourbières sont présents. Les résultats obtenus permettront de vérifier la possibilité d'identifier des liens, depuis les quatre dernières décennies, entre l'évolution des caractéristiques de surface des tourbières et le climat dans cette région boréale où les modèles de prédiction climatique prévoient un réchauffement plus accentué des températures. Ces études sont menées sous la direction de Michelle Garneau (de l'Université du Québec à Montréal) et Serge Payette (de l'Université Laval à Québec).

3.5 La faune

La plupart des études visant à comprendre l'influence du changement climatique sur la faune s'intéressent aux changements de la phénologie des organismes (soit le moment où les événements récurrents du cycle de vie comme la reproduction se produisent ou la réponse des organismes à leur environnement). Le climat peut avoir un impact direct sur la phénologie de la faune ou des effets indirects par le biais de la modification de l'habitat de la faune. Ainsi la survie de certains vertébrés peut dépendre de l'adéquation entre la phénologie des végétaux et la reproduction (Einum et Fleming 2000; Thomas *et al.* 2001).

3.5.1 Les effets indirects du climat

Des études expérimentales en milieu contrôlé montrent que l'augmentation de chaleur accélère la croissance des plantes et avance le début du prochain stade phénologique (Saxe *et al.* 2001; Badeck *et al.* 2004). Une des conséquences du changement climatique pourraient être une désynchronisation entre la disponibilité des plantes et la faune qui les

consomment. En effet, les herbivores élèvent généralement leurs progénitures au moment du pic de disponibilité des plantes qu'il consomment (Perrins 1970; Nilsson 1994). Ainsi les animaux risquent de devoir se reproduire de plus en plus tôt pour rester synchrones avec la phénologie de leur nourriture.

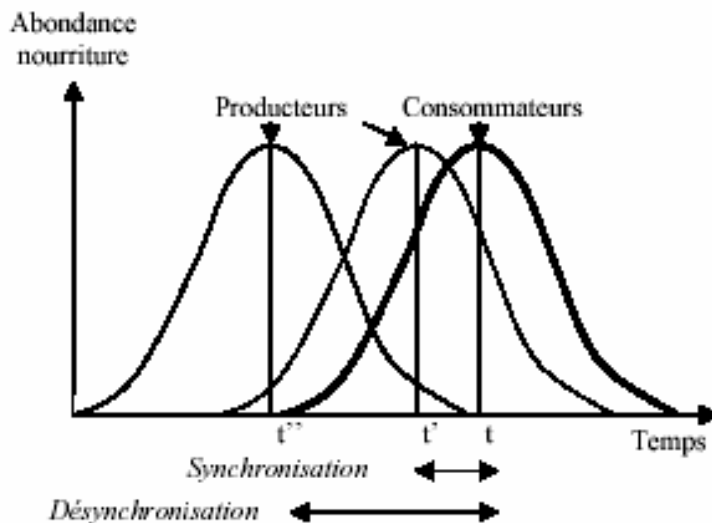


Figure 3-2: Synchronisation phénologique entre les besoins des consommateurs (Vertébrés) et le pic d'abondance de producteurs (végétation ou herbivores associés) lors de la reproduction (adapté de Durant et al. 2005)

Une étude menée au Yukon illustre l'effet indirect du réchauffement climatique sur les écureuils roux (*Tamasciurus hudsonicus*). Ainsi le réchauffement climatique et l'augmentation de l'abondance de cônes d'épinettes sont corrélés à une avancée de la date de reproduction de la population d'écureuil roux étudiée (Réale *et al.* 2003; Berteaux *et al.* 2004).

Parmi les effets indirects du climat sur la faune, on peut aussi mentionner l'effet du réchauffement sur la fonte et la réduction du couvert de glace des régions arctiques. Ceci à une conséquence majeure sur les ours polaires qui doivent nager beaucoup plus et qui éprouve des difficultés à se nourrir (Envirozine 2005).

3.5.2 Les effets directs

Plusieurs études ont montré la corrélation entre le réchauffement du climat et la date de reproduction de plusieurs vertébrés (Crick et Sparks 1999; Sanz 2002). En Amérique du Nord, la date moyenne de ponte a avancé de 10,1 jours entre 1971 et 1998. Les méta-analyses réalisés sur 675 espèces dans plusieurs sites ont montré une avancée globale des phénologies printanières (végétales et animales) de 2,3 jours par décennie (Parmesan et Yohe 2003). Cependant toutes les espèces ne réagissent pas de la même façon, par exemple, chez les oiseaux 47 % des 168 espèces considérées ont devancé leur date de reproduction, 8 % l'ont retardée et 45 % ne l'ont pas modifiée (Parmesan et Yohe 2003; Visser *et al.* 2004).

3.5.3 Les études sur le Territoire de la Baie James

Des recherches sont actuellement en cours à l'Université du Québec à Rimouski sous la direction de Dominique Berteaux dans le cadre de la chaire de recherche du Canada en conservation des écosystèmes nordiques (Berteaux *et al.* 2006). Un thème de recherche développé par Dominique Berteaux en partenariat avec ArcticNet s'intéresse à la réponse des mammifères vivant dans la forêt boréale aux changements climatiques en cours.

De plus, un des thèmes de recherche d'ArcticNet est consacré à l'étude des aspects « nourriture, eau et ressources en fonction de la variation du gradient géothermique nord-sud dans l'Arctique de l'Est canadien terrestre » (ArcticNet 2006). Ce thème est une étude d'impact régional intégrée sur le réchauffement du climat et les conditions sociétales le long du gradient nord-sud des zones arctiques et subarctiques canadiennes de l'est. Les recherches s'effectueront à l'intérieur du « Northern RiSCC sector », secteur qui s'étend sur plus de 30 degrés de latitude, soit du 53°N (Baie James) au 83°N (parc national Quttinirpaaq, île d'Ellesmere, Nunavut) et couvre diverses zones écoclimatiques, telles que la forêt boréale, la toundra arbustive et le désert polaire du Haut Arctique.

Le Service Canadien de la faune a mené une recherche sur les oies de la baie James (Service canadien de la faune 2006). Les espèces étudiées étaient la Bernache cravant, la Bernache du Canada et la Petite Oie des neiges. Ces espèces ont une importance économique puisqu'elles sont chassées par les populations crie et inuite du Nord du Québec. Cette étude vise à obtenir des renseignements sur les besoins écologiques des oies pendant leurs périodes de rassemblement et de reproduction dans les terres humides riveraines de la baie James de façon à évaluer, prévoir et diminuer l'impact des activités de la région. Cette étude est réalisée en partenariat avec PCOA (projet conjoint sur les Oies de l'Arctique), la Société d'énergie de la Baie James, le Groupe-conseil Génivar et Eeyou Corporation. Les connaissances acquises lors de cette étude pourraient permettre d'évaluer l'incidence indirecte des changements climatiques sur les populations aviaires étudiées et par conséquent connaître l'impact des changements climatiques sur cette ressource.

Études à suivre :

- Les études de Dominique Berteaux de l'Université du Québec à Rimouski concernant la réponse des mammifères vivant dans la forêt boréale aux changements climatiques en cours.
- Les études menées dans le cadre d'ArcticNet sur les aspects « nourriture, eau et ressources en fonction de la variation du gradient géothermique nord-sud dans l'Arctique de l'Est canadien terrestre »
- Les études du Service Canadien de la faune pour la faune aviaire dont la sauvagine

3.6 L'énergie et le Territoire de la Baie James

Le bassin versant du Complexe hydroélectrique La Grande comprend environ 177 000 km², soit 12 % de la superficie du Québec. La production électrique annuelle du

Complexe La Grande s'élève à environ 83 TéraWattheures (TWh), c'est à dire plus de 40 % de l'électricité consommée au Québec (193 TWh en 2003). La construction de trois nouvelles centrales entre 2003 et 2011 (Eastmain-1, Eastmain-1A et Sarcelle) et la dérivation du cours supérieur de la rivière Rupert vers les centrales de La Grande fera passer la production totale du Complexe de la Baie James à près de 94 TWh.

Des études réalisées sur le Territoire de la Baie James ont évalué les changements de ruissellement de trois bassins hydrologiques d'importance pour la production d'hydroélectricité. Singh (1988 dans Bruce et al. 1999) conclut à une augmentation du ruissellement de la rivière La Grande (15,6 % - 16,5 %), de la rivière Caniapiscau (13,0 % - 15,7 %) et de la rivière Opinaca-Eastmain (6,7 % - 20,2 %). Cependant ces augmentations ne dépassent pas les variations annuelles de la capacité nette des bassins actuellement (Bruce et al. 1999).

L'augmentation anticipée des précipitations sur le Territoire de la Baie James devrait amener à une augmentation de la production d'électricité.

En rapport avec les changements climatiques, il est adéquat de mentionner le fait que c'est l'hydroélectricité qui émet le moins de gaz à effet de serre (en phase d'exploitation) loin devant les centrales au pétrole, au charbon ou au gaz naturel (Tremblay 2005). Les premières années suivant la mise en eau des réservoirs sont marquées par une hausse des émissions des gaz à effet de serre. Ces émissions sont dues à la décomposition de la fraction labile de la matière organique noyée. Les émissions des réservoirs reviennent à des taux équivalents à ceux des lacs et rivières après une période de 10 ans (SEBJ 2004). Ainsi, la superficie noyée maximale des biefs Rupert pour le projet Eastmain-1-A équivaut à 346 km². Les émissions maximales des gaz à effet de serre devraient être mesurées 2 à 4 ans après la mise en eau et atteindre 128 000 à 685 000 tonnes équivalent CO₂ par an. Par la suite, les émissions devraient diminuer à 32 000 à 71 000 tonnes équivalent CO₂ par an alors qu'elles se situent actuellement entre -36 000 et 81 000 tonnes équivalent CO₂ (SEBJ 2004).

4. Les recherches à suivre et à mener pour combler les lacunes sur le Territoire de la Baie James

Les thèmes de recherche liés directement aux changements climatiques et réalisés au moins en partie sur le Territoire de la Baie James sont mentionnés dans le tableau ci-dessous (Tableau 4-1). Ces thèmes de recherche regroupent généralement plusieurs projets et font l'objet d'un travail en continu c'est pourquoi il n'y a pas d'échéance précise rattachée à ces thèmes.

Tableau 4-1: Thèmes de recherche menées sur le Territoire de la Baie James

	Thème de recherche et objectifs	Personnes ressources ou institutions
Climat	Modélisation régional du climat afin de prévoir l'ampleur des changements climatiques et leurs impacts	Ouranos (Montréal) Environnement Canada
	Réseau de stations expérimentales SILA (suivi du climat nordique)	Yves Bégin (Université Laval)
Ressources en eau	Variations du niveau des grands lacs subarctiques du Québec	Yves Bégin (Université Laval) Ouranos
	Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques pour le secteur de l'eau	Service météorologique du Canada
Forêt	Sud de la Baie James Étude sur la dynamique des écosystèmes forestiers et leur interactions avec le climat et les perturbations	Yves Bergeron (UQAT)
	Nord de la Baie James - Impacts à long terme des interactions entre les perturbations et les changements climatiques - Écologie des feux du Haut-Boréal - Dynamique forestière à l'interface boréal-subarctique - Écologie de la reproduction des écosystèmes boréaux (anticiper le comportement reproducteur des écosystèmes boréaux sous l'impact des changements climatiques)	Dominique Arseneault Luc Sirois
Tourbière	Les tourbières de la Baie James : suivi historiques et changements climatiques Cette étude vise à reconstituer la dynamique spatio-temporelle des tourbières afin d'estimer les conséquences de leur évolution sous l'effet de la transformation du climat	Michelle Garneau (UQAM) Serge Payette (Université Laval)
Faune	Réponse aux changements climatiques de mammifères vivant dans la forêt boréale	Dominique Berteaux (UQAR)
	Impact des changements climatiques sur la faune aviaire	Joel Béty (UQAR) Jean-Luc DesGranges (Service Canadien de la faune)
Énergie	Les stratégies énergétiques du Québec déterminent les besoins et les orientations du Québec quant à l'énergie et selon les objectifs de réduction des gaz à effet de serre	Hydro-Québec Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

5. Conclusion

Les scientifiques réunis à Paris le 1^{er} février 2007 ont publié la synthèse du travail de plusieurs centaines de chercheurs à travers le monde. Leurs conclusions sont claires. Les changements climatiques sont incontestables. Le dernier siècle a été le plus chaud dans l'hémisphère nord depuis 1300 ans (IPCC 2007). Onze des douze dernières années ont été les plus chaudes depuis 1850. La hausse moyenne de la température terrestre est estimée à 3 °C d'ici 2100. De plus, ces scientifiques nous assure à 90% que ce sont les activités humaines par l'émissions des gaz à effets de serre qui sont responsable de ce réchauffement (IPCC 2007).

L'impact des changements climatiques est parfois difficile à prévoir. La concentration de gaz à effet de serre, la température, les précipitations agissent sur l'ensemble des écosystèmes. Les interactions entre les facteurs sont complexes à anticiper.

De grandes lignes peuvent néanmoins se dégager pour le Territoire de la Baie James (Tableau 5-1). Ainsi un réchauffement moyen de 4°C est attendu d'ici 2050. Le réchauffement devrait être plus accentué l'hiver que l'été. Les modèles indiquent une augmentation des précipitations pouvant atteindre 30% par jour d'ici à 2050. Ces changements climatiques ont des conséquences sur les écosystèmes. Sur le Territoire de la Baie James, on peut s'attendre à avoir des manifestations des modifications déjà notées à l'échelle planétaire, parmi lesquelles la migration des espèces végétales et animales plus au nord. À l'instar de ce qui s'est produit dans le passé, ces déplacements seront dépendant des caractéristiques de chaque espèce. Pour le Territoire de la Baie James, les zones côtières ne sont pas menacées d'érosion accélérée comme c'est le cas sur la Côte-Nord.

Tableau 5-1: Principaux impacts pour le territoire de la Baie James

Secteur	Impacts attendus
Climat	Réchauffement moyen de 4 °C d'ici à 2050 par rapport à la période 1961-1990 Augmentation des précipitations pouvant atteindre 30% par jour d'ici 2050 par rapport à la période 1961-1990
Ressources en eau	Augmentation des ressources en eau Peu ou pas de risques pour la zone côtière
Forêt	Impact positif et négatif sur l'écologie des végétaux dépendamment de l'espèce et du stade de développement. Généralement une croissance plus importante des espèces arborescentes Tendance à la migration vers le nord des écosystèmes forestiers Augmentation ou non du risque de feu, pas de consensus Plus d'épidémie
Tourbière	Actuellement un puit de carbone, pourrait devenir une source de gaz à effet de serre sous l'effet du réchauffement climatique
Faune	Migration de certaines espèces vers le nord Date de reproduction avancée Risque de désynchronisme avec la végétation qui pourrait être dommageable à la santé des animaux ou avancement de la date de reproduction de la faune

6. Bibliographie

- ArcticNet (2006). Rapport Annuel 2005-2006. Université Laval, Québec, Québec, Canada. 112 pp.
- Badeck, F.-W., A. Bondeau, K. Bottcher, D. Doktor, W. Lucht, J. Schaber et S. Sitch (2004). Responses of spring phenology to climate change. *New Phytologist* **162**: 295-309.
- Bergeron, Y. (1998). Les conséquences des changements climatiques sur la fréquence des feux et la composition forsière au sud-ouest de la forêt boréale québécoise. *Géographie physique et Quaternaire* **52**: 1-7.
- Berteaux, D., M. M. Humphries, C. J. Krebs, M. Lima, A. G. McAdam, N. Pettorelli, D. Réale, T. Saitoh, E. Tkadlec, R. B. Weladji et N. C. Stenseth (2006). Constraints to projecting the effects of climate change on mammals. *Climate Research Special* **15, 32**: 151-158.
- Berteaux, D., D. Réale, A. G. McAdam et S. Boutin (2004). Keeping pace with fast climate change: can arctic life count on evolution? *Integrative and Comparative Biology* **44**: 140-151.
- Bertrand, A. et F. J. Bigras (2006). Atmospheric carbon dioxide enrichment reduces carbohydrate and nitrogen reserves in overwintering *Picea mariana*. *Scandinavian Journal of Forest Research* **21**: 3-13.
- Bonsal, B. R., X. Zhang, L. A. Vincent et W. D. Hogg (2001). Characteristics of Daily and extreme temperatures over Canada. *Journal of Climate* **14**: 1959-1976.
- Brooks, J. R., L. B. Flanagan et J. R. Ehleringer (1998). Responses of boreal conifers to climate fluctuations: indications from tree-ring widths and carbon isotope analyses. *Canadian Journal of Forestry Research* **28**: 524-533.
- Bruce, J., I. Burton, H. Martin, B. Mils et L. A. Mortsch (1999). Le secteur de l'eau : Vulnérabilité et adaptation aux changements climatiques. Soil and Water Conservation Society et Ressources naturelles Canada, 70 pp.
- CCIS (2006). Scenario Access. <http://www.cics.uvic.ca/scenarios/data/select.cgi>. Canadian Climate Impacts and Scenarios.
- Clair, T., S. Beltaos, W. Brimley et A. Diamond (1997). Regional climate sensitivities - Ecosystem science and water resources. *Dans: Climate change and climate variability in Atlantic Canada*. [J. Abraham, T. Canavan et R. Shaw (eds.)]. Bedford, n.S., Environment Canada. **Volume VI of the Canada Country study Climate impacts and adaptation**.
- Clark, J. S. (1998). Effect of climate change on fire regimes in north-western Minnesota. *Canadian Journal of Forest Research* **20**: 219-232.
- Colombo, S. J. (1998). Plant physiological responses to a changing environment. *Dans: The impact of climate change on Ontario's forests*. [F. Colombo, L.J. Buse, M.L. Cherry, C. Graham, S. Greifenhagen, R.S. Mcalpine, C.S. Papadacol, W. C. Parker, R. Scarr, M. T. Ter-Mikaelian et M. Flannigan (eds.)]. Ontario Forest Research Institute. **Forest research paper no143**: 50.
- Courchesne, F., A. G. Roy, P. M. Biron, B. Cote, J. W. Fyles et W. H. Henderson (2001). Fluctuations of climate conditions, elemental cycling and forest growth at the watershed scale. *Environmental Monitoring and Assessment* **67**: 161-177.

- Crick, H. Q. P. et T. H. Sparks (1999). Climate change related to egg laying trends. *Nature* **399**: 423-424.
- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty, R. P. Neilson, M. P. Ayres, M. D. Flannigan, P. J. Hanson, L. C. Irland, A. E. Lugo, C. J. Peterson, D. Simberloff, F. J. Swanson, B. J. Stocks et B. M. Wotton (2001). Climate change and forest disturbances. *Bioscience* **51**: 723-734.
- Delcourt, H. R. et P. A. Delcourt (1988). Quaternary landscape ecology: relevant scales in space and time. *Landscape Ecology* **2**: 23-44.
- Drake, B. G., M. A. González et S. P. Long (1997). More efficient plant: a consequence of rising atmospheric CO₂? Annual review of plant physiology and plant molecular biology **48**: 609-639.
- Durant, J. M., D. Hjermann, T. Anker-Nilssen, G. Beaugrand, A. Myrsetrud, N. Pettorelli et N. C. Stenseth (2005). Timing and abundance as key mechanisms affecting trophic interactions in variable environments. *Ecological Letters* **8**: 952-958.
- Einum, S. et R. A. Fleming (2000). Selection against late emergence and small offspring in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Evolution* **54**: 628-639.
- Energide (2006). Guide de la consommation du carburant. Ministère des ressources naturelles du Canada / Office de l'efficacité énergétique, Ministère des transports du Québec et Bureau des relations intergouvernementales et des changements climatiques (BRICC) du développement durable, de l'environnement et des parcs (MDDEP). <http://oee.nrcan.gc.ca/publications/transports/consommation-carburant/2006/index.cfm>.
- Enviromet International Inc. (2003). Ajout de stations au réseau météorologique - volume I: Rapport principal. Hydro-Québec production, pp.
- Environnement Canada (2005). Le transport des voyageurs au Canada. http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/Indicators/Issues/Transpo/Tech_Sup/ptsup2_f.cfm. 2005-04-11
- Environnement Canada (2006a). État de l'environnement - 1996. <http://www.ec.gc.ca/soer-ree/Francais/SOER/1996report/Doc/1-8-5-4-5-1.cfm>.
- Environnement Canada (2006b). Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne - foresterie http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/forest_7_f.php. Environnement Canada.
- Environnement Canada (2007). Comparaison des épisodes El Niño. http://www.msc.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/index_f.cfm. Service météorologique du Canada. 2002-12-18
- Envirozine (2005). Les ours polaires et le réchauffement climatique. Environnement Canada. Envirozine 10 fev 2005. http://www.ec.gc.ca/EnviroZine/french/issues/51/feature1_f.cfm.
- Flannigan, M., I. Campbell, M. Wotton, C. Carcaillet, P. Richard et Y. Bergeron (2001). Future fire in Canada's boreal forest: paleoecology results and general circulation model - regional climate model simulations. *Canadian Journal of Forest Research* **31**: 854-864.
- Flannigan, M. D. et C. E. Van Wagner (1991). Climate change and wildfire in Canada. *Canadian Journal of Forestry Research* **21**: 66-72.
- Folland, C. K., T. R. Karl, J. R. Christy, G. V. Gruza, J. Jouzel, M. E. Mann, J. Oelermans, M. J. Salinger et S. W. Wang (2001). Observed climate variability

- and change. *Dans*: Climate change 2001: the scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. [J.T. Houghton, T. S. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van Der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press: 881 p.
- Forget, E., R. Drever et F. Lorenzetti (2003). Changements climatiques: impacts sur les forêts québécoises -revue de littérature. Ouranos, Montréal, Qc. 57 pp.
- Gosselin, D. et R. Perrier (2001). Survol des cas de pluie abondantes au Québec 1869-1912. Rapport scientifique SEC-Q01-01. Environnement Canada, Rapport scientifique SEC-Q01-01 177 pp.
- Hofgaard, A., T. Jacques et B. Yves (1999). Dendroclimatic response of *Picea mariana* and *Pinus banksiana* along a latitudinal gradient in the Canadian boreal forest. *Canadian Journal of Forest Research* **29**: 1333-1346.
- Info-forêts (2001). Études des effets potentiels des changements climatiques sur les incendies de forêts. Ressources naturelles Canada.
http://www.pfc.cfs.nrcan.gc.ca/news/InfoForestry/April2001/iffire_f.html.
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change. J.T. Houghton, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. Van Der Linden, X. Dai, K. Maskell et C.A. Johnson. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, N.Y. USA. 881 pp.
- IPCC (2007). Climate Change 2007: The physical science basis - Summary for policymakers - Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change.
<http://www.ipcc.ch/SPM2feb07.pdf>, Paris, France. 18 pp.
- Isebrands, J. G., E. P. McDonald, E. Kruger, G. Hendrey, K. E. Percy, K. Pregitzer, J. Sober et D. F. Karnosky (2001). Growth responses of *Populus tremuloides* clones to interacting elevated carbon dioxide and tropospheric ozone. *Environmental Pollution* **115**: 359-371.
- Kirshchbaum, M. U. F. (2000). Forest growth and species distribution in a changing climate. *Tree Physiology* **20**: 309-322.
- Kozlowski, T. T. et S. G. Pallardy (1997). *Physiology of Woody plant*. Academic Press, San Diego, California, USA. 411 pp.
- Leith, R. M. M. et P. H. Whitfield (1998). Evidence of climate change effects on the hydrology of streams in South-Central B.C. *Canadian Water Resources Journal* **23**: 219-230.
- Luckman, B. H. et T. Kavanagh (2000). Impact of climate fluctuations on mountains environment in the Canadian Rockies. *Ambio* **29**: 371-380.
- Lysyk, T. J. (1989). Stochastic model of eastern spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) phenology on white spruce and balsam fir. *Journal of Economic Entomology* **82**: 1161-1168.
- MDDEP (2003). Inventaire québécois des émissions des gaz à effet de serre en 2003. Ministère du développement durable et des parcs.
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/changements/ges/2003/index.htm#points-saillants>.
- Mekis, É. et W. D. Hogg (1999). Rehabilitation and analysis of Canadian daily precipitation time series. *Atmosphere-Ocean* **37**: 53-85.

- Meunier, C. (2006). Influence de la température sur la croissance et le développement des graines de l'épinette noire dans la forêt boréale au Québec. Faculté des études supérieures. Université Laval. Québec, Qc, Canada. 125 pp.
- MRN (2005). Les zones de végétation et domaines bioclimatiques du Québec. <http://www.mrn.gouv.qc.ca/forets/quebec/quebec-milieu.jsp>. 2002
- Niemela, P., I. Chapin F S, K. Danell et J. P. Bryant (2001). Herbivory-mediated responses of selected boreal forests to climatic change. *Climatic Change* **48**: 427-440.
- Nilsson, J.-A. (1994). Energetic bottle-necks during breeding and the reproductive cost of being too early. *Journal of Animal Ecology* **63**: 200-208.
- Olszyk, D., C. Wise, E. Vaness, M. Apple et D. Tingey (1998). Phenology and growth of shoots, needles, and buds of Douglas- Fir seedling with elevated CO₂ and (or) temperature. *Canadian Journal of Botany* **76**: 1991-2001.
- Ouranos (2007). 4e rapport d'évaluation du GIEC - Volume 1: les éléments scientifiques - Implications pour le Canada et le Québec. http://www.ouranos.ca/intro/IPCC2007_f.html. 2007-02-12
- Overpeck, J. T., D. Rind et R. Goldberg (1990). Climate-induced changes in forest disturbance and vegetation. *Nature* **343**: 51-53.
- Papadocol, C. S. (2000). Impacts of climate warming on forests in Ontario: options for adaptation and mitigation. *Forestry Chronicle* **76**: 139-149.
- Parmesan, C. et G. Yohe (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts accross natural systems. *Nature* **421**: 37-42.
- Percy, K. E., C. S. Awmack, R. L. Lindroth, B. J. Kopper, J. G. Isebrands, K. Pregitzer, G. R. Hendry, R. E. Dickson, D. R. Zak, E. Oksanen, J. Sober, R. Harrington et D. F. Karnosky (2002). Will pests modify predicted response of forests to CO₂ enriched atmospheres? *Nature* **420**: 403-407.
- Perrins, C. M. (1970). The timing of birds' breeding seasons. *Ibis* **112**: 242-255.
- Réale, D., A. G. McAdam, S. Boutin et D. Berteaux (2003). Genetic and plastic response of a northern mammal to climate change. *Proc. R. Soc. London B.* **270**: 591-596.
- Ressources naturelles Canada (2006a). Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne - les forêts. Ressources naturelles Canada. http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/summary_8_f.php.
- Ressources naturelles Canada (2006b). Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne - les tourbières. Ressources naturelles Canada. http://adaptation.nrcan.gc.ca/sensitivities/10_f.php.
- Ressources naturelles Canada (2006c). Impacts et adaptation liés aux changements climatiques : perspective canadienne - les zones côtières. Ressources naturelles Canada. http://adaptation.nrcan.gc.ca/perspective/summary_8_f.php.
- Rizzo, B. et E. Wilken (1992). Assessing the sensitivity of Canada's forests to climatic change. *Climatic Change* **21**: 37-55.
- Sanz, J. J. (2002). Climate change and breeding parameters of great and blue tit through the western palearctic. *Global Change Biology* **8**: 409-422.
- Saxe, H., M. G. R. Cannell, O. Johnsen, M. G. Ryan et G. Vourlitis (2001). Tree and forest functioning in response to global warming. *New Phytologist* **149**: 369-400.

- SEBJ (2004). Centrale de l'Eastmain-1-A et dérivation Rupert - Étude d'impact sur l'environnement. Société d'énergie de la Baie James pour Hydro-Québec Production, Volume 2, 529 pp.
- Service canadien de la faune (2006). Études des oies de la Baie James. Service canadien de la faune. <http://www.mb.ec.gc.ca/nature/ecb/da02s07.fr.html>.
- Stocks, B. J., M. A. Fosberg, T. J. Lynham, L. Means, B. M. Wotton, Q. Yang, J. Z. Jin, K. Lawrence, G. R. Hartley, J. A. Mason et D. W. McKenney (1998). Climate change and forest fire potential in russian and canadian boreal forests. *Climatic Change* **38**: 1-13.
- Thomas, D. W., J. P. Blondel, P. Perret, M. Lambrechts et J. R. Speakman (2001). Energetics and fitness costs of mismatching resource supply and demand in seasonally breeding birds. *Science* **291**: 2598-2600.
- Thompson, I. D., M. D. Flannigan, B. M. Wotton et R. Suffling (1998). The effects of climate change on landscape diversity: an example in ontario forests. *Environmental Monitoring and Assessment* **49**: 213-233.
- Tremblay, A. (2005). Émissions de GES dans les réservoirs hydroélectriques, des tropiques à la Baie James. Symposium Ouranos. 7 fev 2005., Montréal, QC. p.
- Visser, M. E., C. Both et M. Lambrechts (2004). Global climate change leads to mistimed avian reproduction. *Adv. Ecol. Res.* **35**: 89-110.
- Volney, W. J. A. et R. A. Fleming (2000). Climate change and impacts of boreal forest insects. *Agriculture Ecosystems & Environment* **82**: 283-294.
- Williams, D. W. (1995). Forest defoliators and climatic change: potential changes in spatial distribution of outbreaks of western spruce budworm (Lepidoptera: Tortricidae) and gypsy moth (Lepidoptera: Lymantriidae). *Environmental Entomology* **24**: 1-9.
- Wotton, B. M. et M. Flannigan (1993). Length of the fire season in a changing climate. *The Forestry Chronicle* **69**: 187-192.
- Yagouti, A., G. Boulet et L. Vescovi (2006). Homogénéisation des séries de températures et analyse de la variabilité spatio-temporelle de ces séries au Québec méridional. Consortium Ouranos, Montréal, Qc. 139 pp.
- Yulianti, J. S. et D. H. Burn (1998). Investigating links between climatic warming and low streamflow in the Prairie regions of Canada. *Canadian Water Resources Journal* **23**: 45-60.
- Zhang, X., L. A. Vincent, W. D. Hogg et A. Niitsoo (2000). Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century. *Atmosphere-Ocean* **38**: 395-429.

7. Annexes

Dans cette dernière partie sont regroupés des tableaux d'informations sur les stations d'Hydro-Québec de l'ancien réseau actif de 1995 à 2004 (Tableau 7-1 et Tableau 7-2) et du nouveau réseau installées depuis 2005 (Tableau 7-3, Tableau 7-4, Tableau 7-5 et Tableau 7-6). Les données ont été fournies par Hydro-Québec.

Les informations marquées par les événements El Niño et La Niña sont compilées dans les tableaux 7-7 et 7-8

Tableau 7-1 : Coordonnées des stations climatiques d'Hydro-Québec actives entre 1990 et 2004 et les paramètres mesurés (partie 1)

Nom de la station	Indicatif RMCQ	Unité territoriale	Statut	Latitude	Longitude	Paramètres météorologiques mesurés ²						
						T	HR	P	IP	Vpcpn	Vent	Neige
Brisay - Barrage amont	CQBR	La Grande	Inactif	54°26'39"	70°30'43"	x		x			x	
Caniapiscau Nord-Est	CQCQ	La Grande	Inactif	54°31'06"	69°13'23"			x				
Caniapiscau Nord-Ouest	CQCN	La Grande	Inactif	54°25'38"	70°10'42"	x		x			x	
Caniapiscau Sud	CQCS	La Grande	Inactif	54°06'47"	69°55'32"	x		x	x			
Duncan - Barrage amont	CQDC	La Grande	Inactif	53°35'27"	77°30'16"	x		x			x	
Duplanter - Barrage amont	CQDP	La Grande	Inactif	54°50'47"	69°48'44"	x		x			x	
Eastmain - Météo	CQEA	La Grande	Inactif	52°12'35"	76°35'00"	x		x			x	
LA 2 KD-04	CQDK	La Grande	Inactif	54°40'04"	71°02'10"	x		x	x		x	
La Sarcelle - Météo	CQLS	La Grande	Inactif	52°40'01"	76°38'08"	x		x			x	
Lac Frégate	CQLF	La Grande	Inactif	53°12'14"	74°50'10"	x		x				
LG 2- Barrage amont	CQXP	La Grande	Inactif	53°47'25"	77°26'30"	x		x			x	
LG 2 Nord-Est	CQXN	La Grande	Inactif	54°08'35"	76°15'12"	x		x			x	
LG 3 - Barrage amont météo	CQXM	La Grande	Inactif	53°43'30"	75°59'00"	x		x			x	
LG 3 TA10	CQXI	La Grande	Inactif	53°55'54"	75°23'12"	x		x			x	
LG 3 TA12	CQXJ	La Grande	Inactif	53°55'40"	75°27'55"	x					x	
LG 3 TA32	CQXK	La Grande	Inactif	53°29'01"	76°00'35"	x		x			x	
LG 4 - Barrage amont	CQXA	La Grande	Inactif	53°53'11"	73°27'48"	x					x	
LG 4 Est	CQXE	La Grande	Inactif	53°57'33"	73°00'09"	x		x			x	
LG 4 Sud	CQXS	La Grande	Inactif	53°49'35"	73°06'49"			x				
Petit Opinaca	CQPO	La Grande	Inactif	52°22'21"	76°45'27"	x		x			x	
Vincelotte	CQVI	La Grande	Inactif	54°14'25"	72°27'42"	x		x				
Bourque - Barrage amont	CQBQ	La Grande	Inactif	47°36'49"	77°18'29"			x				
Dozois Est	CQDZ	La Grande	Inactif	47°27'08"	77°04'43"	x		x			x	x

² **T** : température de l'air; **HR** : humidité relative; **P** : précipitation totale au précipitomètre; **IP** : pluie au pluviomètre à augets basculants; **Vpcpn** : direction et vitesse du vent au précipitomètre; **Vent** : direction et vitesse du vent à 10 mètres; **Neige** : épaisseur de neige.

Tableau 7-2 : Coordonnées des stations climatiques d'Hydro-Québec actives entre 1990 et 2004 et les paramètres mesurés (partie 2)

Nom de la station	Indicatif RMCQ	Unité territoriale	Statut	Latitude	Longitude	Paramètres météorologiques mesurés ³						
						T	HR	P	IP	Vpcpn	Vent	Neige
Bersimis 1 Est	CQBM	Manicouagan	Inactif	49°36'21"	70°06'21"	x		x	x		x	
Bersimis 1 Ouest	CQBO	Manicouagan	Inactif	49°25'58"	70°55'41"	x		x	x			
Lac Ste-Anne	CQAE	Manicouagan	Inactif	50°08'33"	67°53'57"	x		x	x			
Manic 3 Nord	CQYN	Manicouagan	Inactif	50°12'49"	68°36'32"	x		x	x			
Manic 5 - Météo	CQYY	Manicouagan	Inactif	50°37'20"	68°43'20"	x		x	x			x
Manic 5 Est	CQYE	Manicouagan	Inactif	51°19'20"	68°09'53"	x		x	x		x	
Manic 5 Nord-Ouest	CQYO	Manicouagan	Inactif	51°39'13"	69°03'22"	x		x	x			
Manic 5 Sud	CQYS	Manicouagan	Inactif	51°06'14"	68°50'02"	x		x	x			
Mistigouèche - Barrage amont	CQMG	Manicouagan	Inactif	48°10'30"	68°01'30"	x		x				
Mitis - Barrage amont	CQMM	Manicouagan	Inactif	48°19'53"	67°54'54"	x		x				
Outardes 4 Nord	CQON	Manicouagan	Inactif	50°32'19"	69°12'12"	x		x	x			
Outardes 4 Sud	CQOS	Manicouagan	Inactif	50°06'13"	68°59'15"	x		x	x		x	
Pamouscachiou - Barrage aval		Manicouagan	Inactif	49°19'45"	70°58'52"	x						
Ste-Marguerite - Campement	CQSM	Manicouagan	Inactif	50°46'57"	66°54'57"	x	x	x	x		x	
Châteauvert C - Barrage amont	CQCV	Des Cascades	Inactif	47°45'29"	73°53'48"	x		x				
Châteauvert C - Bris barrage		Des Cascades	Inactif	47°45'34"	73°53'12"	x						
Gouin - Barrage aval	CQGV	Des Cascades	Inactif	48°20'59"	74°05'55"			x				
Gouin Sud-Ouest	CQGS	Des Cascades	Inactif	48°27'04"	75°19'48"	x		x			x	
Matawin - Barrage amont	CQMW	Des Cascades	Inactif	46°51'42"	73°39'32"	x		x				
Matawin - Bris barrage	CQMX	Des Cascades	Inactif	46°51'48"	73°39'30"	x					x	
Mékinac - Barrage amont	CQKM	Des Cascades	Inactif	46°58'32"	72°39'20"	x		x				
Barrière - Barrage amont	CQBA	Beauharnois-Gatineau	Inactif	47°29'55"	76°43'50"			x				
Cabonga - Barrage amont	CQCB	Beauharnois-Gatineau	Inactif	47°18'35"	76°28'14"			x				
Mercier - Barrage amont	CQME	Beauharnois-Gatineau	Inactif	46°43'06"	75°59'11"	x		x		x	x	x

³ **T** : température de l'air; **HR** : humidité relative; **P** : précipitation totale au précipitomètre; **IP** : pluie au pluviomètre à augets basculants; **Vpcpn** : direction et vitesse du vent au précipitomètre; **Vent** : direction et vitesse du vent à 10 mètres; **Neige** : épaisseur de neige.

Tableau 7-3 : Coordonnées des stations climatiques d'Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 1)

[illegible]

Tableau 7-4 : Coordonnées des stations climatiques d'Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 2)

Nom de station	Indicatifs RMCQ	ProvTerritoir e	Partenaires	Élévation (mètres)	Latitude	Longitude	Paramètres météorologiques mesurés																		
							TAi000H (201)	TAm000H (203)	TAx000H (204)	TAn000H (205)	TDi000H (206)	HAi000H (301)	HAm000H (302)	VDm400H (402)	VVm400H (502)	VDm500H (403)	VVm500H (503)	VDxi500H (406)	VVxi500H (506)	VVxih500H (507)	VDm025B (405)	VVm025B (505)	PC030B (604)	PC040H (701)	NSi000H (801)
Lac Rimbault	CMRA	Québec	Hydro-Québec	625.0	53°11'44"	68°21'24"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lac Rossignol	CMRX	Québec	Hydro-Québec	405.0	52°41'04"	73°47'19"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lac Ste-Anne 2	CMAF	Québec	Hydro-Québec	300.0	50°06'12"	67°56'43"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x
LG 3 TA10	CMXI	Québec	Hydro-Québec	277.0	53°55'52"	75°23'13"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
LG 4 Est	CMXE	Québec	Hydro-Québec	378.0	53°57'35"	73°00'06"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x
LG-3 Taïga	CMXT	Québec	Hydro-Québec	254.0	53°33'55"	76°06'55"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Manic 5 Est	CMYE	Québec	Hydro-Québec	365.0	51°19'20"	68°09'53"																			
Matawin - Barrage amont	CMMW	Québec	Hydro-Québec	362.7	46°51'43"	73°39'33"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x
Metchin	CAMN	Terre-Neuve-et-Labrador	Hydro-Québec	335.0	53°26'22"	63°15'33"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Michikimats	CAMK	Terre-Neuve-et-Labrador	Hydro-Québec	520.0	54°33'49"	64°07'10"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Outardes 4 Sud	CMOS	Québec	Hydro-Québec	357.8	50°06'11"	68°59'15"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x
Petit Opinaca 2	CMOA	Québec	Hydro-Québec	220.0	52°22'10"	76°46'34"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Polaris	CMPW	Québec	Hydro-Québec	410.0	53°43'25"	72°51'39"																		x	
Rapide Sept	CMRS	Québec	Hydro-Québec	338.8	47°47'51"	78°17'46"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x
Réservoir Baskatong	CMKG	Québec	Hydro-Québec	220.0	46°43'05"	75°59'12"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Réservoir Dozois	CMDW	Québec	Hydro-Québec	360.3	47°26'51"	77°04'34"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Réservoir Pipmuacan	CMPP	Québec	Hydro-Québec	566.2	49°21'35"	70°54'55"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rivière Ashuanipi	CAAH	Terre-Neuve-et-Labrador	Hydro-Québec	520.0	53°13'25"	66°12'23"																		x	
Rivière aux Eaux Mortes - Météo	CMRE	Québec	Hydro-Québec	301.0	47°05'51"	72°29'45"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rivière Betsiamites	CMBS	Québec	Hydro-Québec	423.0	49°58'36"	69°54'48"																		x	
Rivière Eastmain	CMEN	Québec	Hydro-Québec	372.0	52°01'33"	73°21'22"	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Rivière Kanaaupscow	CMRK	Québec	Hydro-Québec	189.0	54°14'31"	76°09'23"	x	x	x	x		x	x							x	x	x	x	x	x

Tableau 7-5 : Coordonnées des stations climatiques d'Hydro-Québec installées depuis 2005 et paramètres mesurés (partie 3)

[illegible]

Tableau 7-6 : Explication des paramètres mesurés pour le réseau de stations climatiques installé en 2005

SCADA	Paramètre	Élément	Hauteur (mètre)	Unité	Agrégation	Période (minute)	Fréquence	Type	Définition
TAi000H_201	Température de l'air	Température de l'air		°C	moyenne	1	horaire	acquise	Valeur moyenne de la dernière minute avant l'heure
TAm000H_203	Température de l'air	Température de l'air		°C	moyenne	60	horaire	acquise	Valeur moyenne horaire
TAx000H_204	Température de l'air	Température de l'air		°C	maximum	60	horaire	acquise	Valeur maximum horaire
TAn000H_205	Température de l'air	Température de l'air		°C	minimum	60	horaire	acquise	Valeur minimum horaire
HAi000H_301	Humidité de l'air	Humidité relative		%	moyenne	1	horaire	acquise	Valeur moyenne de la dernière minute avant l'heure
HAm000H_302	Humidité de l'air	Humidité relative		%	moyenne	60	horaire	acquise	Valeur moyenne horaire
VDm400H_402	Vent	Direction du vent	10	degrés	moyenne	10	horaire	acquise	Valeur moyenne des 10 dernières minutes de l'heure
VVm400H_502	Vent	Vitesse du vent	10	km/h	moyenne	10	horaire	acquise	Valeur moyenne des 10 dernières minutes de l'heure
VDm500H_403	Vent	Direction du vent	10	degrés	moyenne	60	horaire	acquise	Valeur moyenne horaire
VVm500H_503	Vent	Vitesse du vent	10	km/h	moyenne	60	horaire	acquise	Valeur moyenne horaire
VDm025B_405	Vent	Direction du vent	2,5	degrés	moyenne	15	15 minutes	acquise	Valeur moyenne des 15 dernières minutes
VVm025B_505	Vent	Vitesse du vent	2,5	km/h	moyenne	15	15 minutes	acquise	Valeur moyenne des 15 dernières minutes
VDxi500H_406	Vent	Direction du vent	10	degrés	maximum	60	horaire	acquise	Valeur instantanée de la pointe de vent de la dernière heure
VVxi500H_506	Vent	Vitesse du vent	10	km/h	maximum	60	horaire	acquise	Valeur instantanée de la pointe de vent de la dernière heure
VVxih500H_507	Vent	Heure de la pointe de vent	10	hh:mm	instantanée	60	horaire	acquise	Heure/minute de la pointe de vent de la dernière heure
PC030B_604	Précipitation totale	Précipitation cumulée		mm	analysée	15	15 minutes	acquise	Valeur instantanée analysée 15 minutes
PC040H_701	Précipitation liquide	Précipitation liquide cumulée (A/B)		mm	instantanée	60	horaire	acquise	Valeur instantanée horaire
NSi000H_801	Neige au sol	Hauteur de neige au sol		cm	moyenne	1	horaire	acquise	Valeur moyenne de la dernière minute avant l'heure

Tableau 7-7: Les années El Niño et La Niña, 1950-2004

Année	Classification	Année	Classification	Année	Classification
1950-51	La Niña modéré	1970-71	La Niña modéré	1990-91	El Niño faible
1951-52	Neutre	1971-72	Neutre	1991-92	El Niño forte
1952-53	El Niño faible	1972-73	El Niño modéré	1992-93	El Niño faible
1953-54	Neutre	1973-74	La Niña forte	1993-94	Neutre
1954-55	La Niña modéré	1974-75	La Niña faible	1994-95	El Niño faible
1955-56	La Niña modéré	1975-76	La Niña modéré	1995-96	La Niña faible
1956-57	Neutre	1976-77	El Niño faible	1996-97	Neutre
1957-58	El Niño forte	1977-78	El Niño faible	1997-98	El Niño forte
1958-59	El Niño faible	1978-79	Neutre	1998-99	La Niña modéré
1959-60	Neutre	1979-80	El Niño faible	1999-2000	La Niña forte
1960-61	Neutre	1980-81	Neutre	2000-01	Neutre
1961-62	Neutre	1981-82	Neutre	2001-02	Neutre
1962-63	Neutre	1982-83	El Niño forte	2002-03	El Niño modéré
1963-64	El Niño faible	1983-84	La Niña faible	2003-04	Neutre
1964-65	La Niña faible	1984-85	La Niña faible		
1965-66	El Niño modéré	1985-86	Neutre		
1966-67	Neutre	1986-87	El Niño modéré		
1967-68	Neutre	1987-88	El Niño faible		
1968-69	El Niño modéré	1988-89	La Niña forte		
1969-70	El Niño faible	1989-90	Neutre		

(Source : Environnement Canada 2007)

http://www.msc.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/index_f.cfm.

Tableau 7-8: Les années El Niño et La Niña, 1950-2004

Année	Classification	Année	Classification	Année	Classification
1900-01	Neutre	1920-21	La Niña	1940-41	El Niño
1901-02	Neutre	1921-22	Neutre	1941-42	El Niño
1902-03	Neutre	1922-23	Neutre	1942-43	La Niña
1903-04	La Niña	1923-24	Neutre	1943-44	Neutre
1904-05	El Niño	1924-25	La Niña	1944-45	Neutre
1905-06	El Niño	1925-26	El Niño	1945-46	Neutre
1906-07	Neutre	1926-27	Neutre	1946-47	Neutre
1907-08	Neutre	1927-28	Neutre	1947-48	Neutre
1908-09	Neutre	1928-29	La Niña	1948-49	Neutre
1909-10	La Niña	1929-30	La Niña	1949-50	La Niña
1910-11	Neutre	1930-31	Neutre		
1911-12	El Niño	1931-32	Neutre		
1912-13	Neutre	1932-33	Neutre		
1913-14	Neutre	1933-34	Neutre		
1914-15	El Niño	1934-35	Neutre		
1915-16	Neutre	1935-36	Neutre		
1916-17	La Niña	1936-37	Neutre		
1917-18	La Niña	1937-38	Neutre		
1918-19	El Niño	1938-39	La Niña		
1919-20	Neutre	1939-40	Neutre		

(Source : Environnement Canada 2007)

http://www.msc.ec.gc.ca/education/el_nino/comparing/index_f.cfm.