



**COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA**

**RESSOURCES NATURELLES CANADA**

**DOSSIER PUBLIC 1577**

---

**Étude de l'impact potentiel des changements climatiques  
sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du  
Canada**

---

C. Rivard, J. Marion, Y. Michaud, S. Benhammane, A. Morin, R. Lefebvre et  
A. Rivera

Mars 2003

Rapport financé par le Fonds d'action pour le changement climatique.

---



Ressources naturelles  
Canada

Natural Resources  
Canada

Canada

This document was produced  
by scanning the original publication.

Ce document a été produit par  
numérisation de la publication originale.

# COMMISSION GÉOLOGIQUE DU CANADA

## DOSSIER PUBLIC 1577

### Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada

C. Rivard<sup>1</sup>, J. Marion<sup>2</sup>, Y. Michaud<sup>1</sup>, S. Benhammane<sup>2</sup>, A. Morin<sup>1</sup>, R.  
Lefebvre<sup>2</sup> et A. Rivera<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Commission géologique du Canada – Division Québec  
<sup>2</sup> INRS-Eau, Terre et Environnement

2003

©Sa Majesté la Reine du chef du Canada 2003  
En vente à l'endroit suivant :  
Commission géologique du Canada  
601, rue Booth  
Ottawa (Ontario) K1A 0E8  
Prix sujet à changement sans préavis

**C. Rivard, J. Marion, Y. Michaud, S. Benhammane, A. Morin, R. Lefebvre, A. Rivera**  
**2003:** Étude de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau  
souterraine dans l'Est du Canada, Commission géologique du Canada, dossier public 1577,  
39 pp. et annexes.

Les dossiers publics sont des produits qui n'ont pas été soumis au processus officiel de publication de la CGC.



## RÉSUMÉ

Les eaux souterraines jouent un rôle majeur dans le cycle de l'eau puisqu'elles constituent la plus importante source d'eau douce de la planète. Au Canada, près de 30% de la population dépend de l'eau souterraine pour son approvisionnement en eau potable. Le renouvellement de cette ressource est assuré par une recharge des aquifères qui dépend pour sa part des précipitations, de l'évapotranspiration et du ruissellement. Il est établi qu'une hausse de la température de l'air induit une plus forte évaporation et que l'infiltration des précipitations dépend du type d'événement pluvieux (durée, intensité, fréquence), ce qui pourrait amener une réduction de la recharge des aquifères. Par conséquent, les changements climatiques et leur influence sur la recharge pourraient avoir des impacts sur la quantité et la qualité de l'eau dans les aquifères.

Un projet de recherche, financé par le Fonds d'action pour le changement climatique (FACC), a été élaboré afin d'évaluer l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine au Québec et dans les Maritimes. Des séries chronologiques de niveaux d'eau dans les puits, de températures, de précipitations et de débits de rivière ont été utilisées pour étudier la relation existant entre le climat et le niveau d'eau dans différentes formations aquifères (granulaires ou fracturées) et dans divers types d'aquifères (libres ou semi-confinés). La base de données développée pour les besoins de cette étude rassemble des informations provenant de 95 puits, 169 stations de jaugeage et 68 stations météorologiques situés au Québec, au Nouveau-Brunswick et à l'Île-du-Prince-Édouard. Cette base cumule près de 7 millions de données. Les séries piézométriques sont généralement mensuelles, viennent de puits parfois influencés par le pompage et couvrent une période de 5 à 30 ans. Les séries climatiques et de débits de rivières sont généralement quotidiennes et peuvent couvrir jusqu'à 100 ans. Une réponse similaire sur une base mensuelle a été observée entre les fluctuations piézométriques et les débits de base (obtenus par séparation d'hydrogrammes de rivière) durant les périodes de chevauchement des deux séries. Étant donné la longueur et la fréquence avantageuses des séries hydrologiques, et parce que le calcul des débits de base permet de déterminer une valeur régionale (à l'échelle du bassin versant), la recharge des nappes a été estimée à l'aide de cette seconde méthode. Les tendances des températures moyennes, des précipitations totales et de la recharge (annuelles et mensuelles) ont été calculées d'abord par régression linéaire, puis à l'aide du test statistique non paramétrique de Mann-Kendall une fois les données pré-traitées.

D'après les résultats obtenus, la recharge annuelle semble rester stable ou diminuer depuis les dernières décennies alors que les précipitations et les températures tendent à augmenter depuis le début du siècle. Un suivi de ces paramètres dans les années à venir est en conséquence crucial puisque la recharge des nappes aquifères assure l'approvisionnement en eau souterraine d'une proportion importante de la population des provinces du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard (60 à 100%) et de la population rurale du Québec (90%). Les aquifères constituent des environnements sensibles, susceptibles de subir des baisses significatives du niveau piézométrique sous des conditions de recharge réduite. Les causes de ce phénomène sont encore inconnues, mais les changements climatiques, combinés ou non à l'activité humaine, font partie des facteurs à considérer.



## TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION .....	1
2	REVUE DES TENDANCES DES VARIABLES HYDROLOGIQUES.....	3
3	REGION A L'ETUDE ET DONNEES DISPONIBLES.....	5
4	CALCUL DE LA RECHARGE.....	9
4.1	Séparation des hydrogrammes .....	9
4.1.1	Approche graphique .....	10
4.1.2	Approche par filtre .....	11
4.2	Fluctuations de la nappe phréatique.....	14
4.3	Comparaison des deux méthodes : séparation d'hydrogrammes – fluctuations de la nappe .....	14
5	DÉTECTION DES TENDANCES .....	19
5.1	Régression linéaire .....	19
5.2	Traitement statistique des données .....	20
5.2.1	Test non paramétrique de Mann-Kendall.....	20
5.2.2	Traitement préalable des données .....	21
6	TENDANCES RÉGIONALES ET ÉTUDE D'INDICES D'ADAPTATION POTENTIELS .....	23
6.1	Tendances régionales.....	23
6.1.1	Valeurs annuelles .....	24
6.1.2	Valeurs mensuelles.....	29
6.2	Développement d'indices précurseurs de bas niveaux d'eau dans les puits.....	30
7	SOMMAIRE ET CONCLUSION .....	33
	REMERCIEMENTS.....	36
	BIBLIOGRAPHIE.....	37

ANNEXE A

Liste des stations piézométriques  
Liste des stations de jaugeage  
Liste des stations météorologiques

ANNEXE B

Présentation de la base de données et du module d'extraction

ANNEXE C

Régressions linéaires : tendances annuelles visuelles pour les températures moyennes, les précipitations totales et la recharge pour la période complète et pour une période fixe de 30 ans (1970-2000)

ANNEXE D

Régressions linéaires : tendances mensuelles visuelles pour les températures, les précipitations et la recharge pour la période complète

ANNEXE E

Développement d'indices

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Particularités des puits étudiés.....	6
Tableau II : Tableau récapitulatif des tendances pour les précipitations totales, la température moyenne et la recharge annuelles pour la période disponible .....	26
Tableau III : Tableau récapitulatif des tendances pour les précipitations totales, la température moyenne et la recharge annuelles pour la période 1970-1999 .....	27

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Distribution spatiale de l'ensemble des stations disponibles .....	5
Figure 2 : Distribution spatiale des stations sélectionnées pour l'étude .....	7
Figure 3 : Allure générale d'un hydrogramme de débit de base a) aec ou abc (d'après Nathan et McMahon, 1990) et b) ABC (d'après Chapman et Maxwell, 1996) .....	11
Figure 4: Comparaison des différentes méthodes de calcul du débit de base à partir de séparation d'hydrogrammes a) station 02PJ005- Rivière Chaudière, Qc, pour l'année 1954 et b) station 01BU002-Rivière Petitcodiac, N.-B., pour l'année 1995 .....	13
Figure 5: Séries mensuelles à Fredericton, N.-B. a) Fluctuations piézométriques et débits de base, MM=3 mois et b) Précipitations et débits de base, MM=15 mois .....	16
Figure 6: Séries mensuelles O'Leary, I.-P.-É., MM=15 mois a) Niveaux piézométrique et débits de base et b) Précipitations et débits de base .....	16
Figure 7 : Distribution des tendances annuelles pour les températures obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes.....	24
Figure 8 : Distribution des tendances annuelles pour les précipitations obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes.....	25
Figure 9 : Tendances annuelles régionales pour la recharge obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes.....	25



## 1 INTRODUCTION

Plusieurs études récentes ont montré une tendance à l'augmentation des précipitations annuelles, des tendances variables dans les débits de rivières mensuels et une fonte des neiges précoce au Canada (Intergovernmental Panel on Climate Change ou IPCC, 2002). Peu d'études ont été consacrées aux impacts des changements climatiques sur les eaux souterraines. Pourtant, environ 30% des canadiens utilisent l'eau souterraine comme source d'approvisionnement et ce pourcentage grimpe de 50 à 100% dans les provinces Maritimes et les régions rurales du Québec (Secrétariat du Comité des priorités du ministère du conseil exécutif, 1997). Le renouvellement de cette ressource dépend directement de l'infiltration efficace des précipitations (eau qui atteint les nappes), qui elle, résulte évidemment des précipitations totales, mais aussi de leur intensité, de leur durée, de leur répartition dans le temps et de la température qui influe sur les taux d'évapotranspiration. Une diminution de la recharge des aquifères aurait des effets directs sur le niveau des nappes, le niveau d'étiage des rivières et possiblement la qualité de l'eau.

L'augmentation des gaz à effet de serre enregistrée depuis quelques décennies semble occasionner un accroissement des températures, qui pourrait avoir une influence significative sur le bilan hydrologique, en occasionnant des changements dans les taux d'évapotranspiration, dans les précipitations et sur la fonte de neige ou de glace, ce qui aurait pour effet d'affecter les conditions des eaux souterraines aux moyennes et hautes latitudes en Amérique du Nord (IPCC, 2002). Les modèles de circulation générale montrent pour la plupart une augmentation des précipitations presque partout en Amérique du Nord, accompagnée d'un accroissement des taux d'évaporation dû à l'augmentation des températures. Ainsi, les régions dans lesquelles les changements en précipitations ne réussiraient pas à compenser les changements en évapotranspiration pourraient connaître une baisse du débit des rivières, du niveau des lacs, de la recharge des nappes et conséquemment des niveaux piézométriques (IPCC, 2002).

De plus, sous des climats plus doux, on prévoit que le cycle hydrologique deviendra plus « intense », entraînant de forts événements pluvieux (IPCC, 1996). En effet, les simulations des modèles de circulation générale (MCG) avec des scénarios réalisés avec un doublement du CO<sub>2</sub> ont indiqué une augmentation de l'intensité des événements pluvieux moyens, même si de petits changements seulement sur les précipitations totales annuelles sont prévus. Ces changements dans les patrons d'intensité-durée-fréquence des précipitations pourraient ainsi modifier les taux de recharge des nappes, puisque la capacité d'infiltration du sol dépend de son degré d'humidité. En effet, des pluies plus intenses sur une plus courte période entravent l'infiltration efficace étant donné que le sol se sature plus rapidement, favorisant ainsi l'écoulement de surface (ruissellement). De plus, ces mêmes scénarios prévoient l'augmentation de la longueur des périodes de sécheresse (nombre de jours consécutifs sans précipitation). Le même résultat pour les nappes est à prévoir de ces conditions (diminution de l'infiltration) étant donné qu'un sol très sec est moins perméable.

Seules quelques études locales au Canada ont démontré l'impact potentiel des changements climatiques sur les aquifères (McLaren et Sudicky, 1993; Maathuis et Thorleifson, 2000). Des municipalités telles que Cap-de-la-Madeleine (Québec) et plusieurs communautés rurales s'alimentant à partir de nappes à surface libre se sentent déjà menacées par une baisse du niveau de l'eau souterraine. Afin d'étudier les relations existant entre le climat, les données hydrologiques (hydrogrammes de rivières) et piézométriques pour différentes formations aquifères et d'évaluer les tendances de divers paramètres (températures, précipitations et recharge) à moyen et long termes à une échelle régionale, un projet a été entrepris dans le cadre des activités de recherche financées par le Fonds d'Action sur les Changements Climatiques (FACC). Le projet a pour but d'évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur les eaux souterraines dans l'est du Canada, de façon à déterminer les régions où la recharge des nappes est en hausse ou en baisse et, conjointement, si ces changements sont accompagnés de tendances similaires ou contraires dans les précipitations et les températures. De plus, ces données serviront à étudier la possibilité de développer des indices climatiques qui permettraient aux gestionnaires de la ressource de s'adapter aux fluctuations à court terme pour l'approvisionnement en eau potable. Par exemple, l'épaisseur du couvert nival ou les précipitations hivernales (décembre à mai) pourraient fournir des valeurs intéressantes permettant de prédire la hauteur approximative des nappes durant la période estivale. Ceci permettrait aux municipalités de se préparer à l'avance à une baisse importante de la nappe en répartissant dans le temps ou en interdisant certaines activités ou usages de la ressource en eau souterraine.

Ce rapport se divise en cinq parties. Le second chapitre présente une brève revue de littérature sur les tendances observées dans le monde et plus spécifiquement au Canada et dans sa partie est (Québec et provinces Atlantiques) pour les données climatologiques et hydrologiques. Le troisième chapitre décrit la région à l'étude et les types de données utilisées durant cette étude, leur provenance ainsi que leur structuration sous forme de base de données. Les différentes méthodes utilisées pour calculer la recharge sont décrites au chapitre quatre. Le cinquième chapitre expose la méthodologie utilisée pour le traitement des données brutes, ainsi que les méthodes statistiques employées. Les résultats des tendances des différentes variables hydrologiques sont présentés au sixième chapitre. Ce dernier introduit également l'étude d'indices visant à développer des stratégies d'adaptation pour les municipalités dont l'approvisionnement en eau potable repose essentiellement sur l'exploitation des nappes aquifères.

## 2 REVUE DES TENDANCES DES VARIABLES HYDROLOGIQUES

Plusieurs études ont été réalisées pour évaluer l'impact des changements climatiques sur les ressources en eau de surface, à partir de modèles de circulation générale ou de séries temporelles des données hydrologiques. Par contre, peu d'entre elles ont été réalisées à l'échelle régionale ou se sont intéressées à évaluer les impacts sur les eaux souterraines.

Au niveau international, citons l'étude de Sharma (1989) portant sur la simulation des taux de recharge selon différents types de végétation en Australie Occidentale. Ses simulations ont montré que la recharge est très sensible aux variations de précipitations et à l'utilisation du sol. De leur côté, Cole *et al.* (1994) et Arnell (1998) ont étudié l'effet des changements climatiques sur les ressources en eau en Grande Bretagne. Ces deux études ont conclu que la hausse de température allait causer une augmentation de l'évapotranspiration et donc entraîner une diminution de la recharge de l'ordre de 8%. Arnell (1998) souligne que la recharge est moins efficace lorsque les événements pluvieux sont courts et intenses. Rosenberg *et al.* (1999) ont quant à eux estimé la recharge selon trois scénarios basés sur des modèles de circulation générale (MCG) sur des régions du sud des États-Unis. Les auteurs estiment qu'avec un changement conservateur de la température moyenne globale (de 1 à 2 °C), la recharge diminuerait quand même de 17 à 25%.

Au Canada, quelques études à l'échelle régionale ont été effectuées sur des données de rivières. Par exemple, Zhang *et al.* (2001) ainsi que Burn et Hag Elnur (2002) ont utilisé le test non paramétrique de Mann-Kendall pour analyser les tendances des séries temporelles des données hydrologiques provenant de plus de 200 stations au Canada sur une période minimale de 20 ans. Ils ont remarqué une tendance à la baisse du débit annuel pour toute la partie sud du Canada. Une tendance à la hausse a par contre été observée pour les débits des mois de mars et d'avril et à la baisse pour certains mois d'été. Les tendances automnales varient en fonction de la situation géographique. Burn et Hag Elnur (2002) ont de plus détecté une tendance positive dans la partie nord du Canada. Plus spécifiquement pour les eaux souterraines, McLaren et Sudicky (1993) ont évalué à l'aide d'un modèle numérique l'impact d'un doublement de la concentration atmosphérique de CO<sub>2</sub> sur les précipitations, l'évapotranspiration et la recharge sur le bassin de Grand River en Ontario. Le modèle a prédit une réduction du taux de recharge de 15 à 35%, provoquant un abaissement du niveau de la nappe de l'ordre de 5 à 20 m. Par ailleurs, Maathuis et Thorleifson (2000) ont effectué une étude dans les prairies canadiennes qui a révélé que la sensibilité des aquifères à une réduction des précipitations diminuait avec leur profondeur et que l'impact d'une augmentation des précipitations dépendait grandement de la période à laquelle elle se produisait.

Au Québec et dans les provinces maritimes, quelques études à l'échelle locale ont été effectuées pour évaluer l'impact des changements climatiques sur les débits de rivières en couplant différents scénarios de MCG et des modèles hydrologiques. Morin et Slivitzky (1992) ont noté, sur le bassin de la rivière Moisie (Québec), une baisse de la moyenne

annuelle du débit. Par contre, sur le bassin de la rivière Châteauguay (Québec), Roy *et al.* (2001) ont remarqué une augmentation du volume du ruissellement, du débit maximum et du niveau d'eau. Bobba *et al.* (1997) ont observé, sur le bassin de la rivière North-East Pond (Terre-Neuve), une diminution du volume de ruissellement durant l'été et une augmentation durant l'hiver. À notre connaissance, aucune étude n'a à ce jour porté spécifiquement sur les eaux souterraines dans l'est du Canada.

### 3 RÉGION À L'ÉTUDE ET DONNÉES DISPONIBLES

Cette étude couvre trois provinces de l'est du Canada, soit le Québec, le Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard. La figure 1 présente la distribution spatiale des 339 stations de mesures sur les trois provinces. Elles sont principalement réparties dans la plaine du Saint-Laurent, en Montérégie et en Estrie et aux Îles-de-la-Madeleine pour le Québec, majoritairement dans la partie est du Nouveau-Brunswick et uniformément sur l'Île-du-Prince-Édouard. À l'Annexe A, un tableau résumé des stations avec les paramètres qu'elles contiennent est fourni, suivi de trois tableaux présentant la liste des stations météorologiques, hydrographiques et piézométriques avec leur localisation (longitude-latitude), la superficie du bassin versant et la période durant laquelle des données ont été prélevées.

Trois types de données ont été étudiées pour ce projet: piézométriques, hydrographiques et climatologiques. Quatre-vingt-quinze (95) stations piézométriques, 168 stations de jaugeage de rivières et 76 stations météorologiques possédant des données sur une période de 5 à 100 ans ont été compilées dans une base de données.

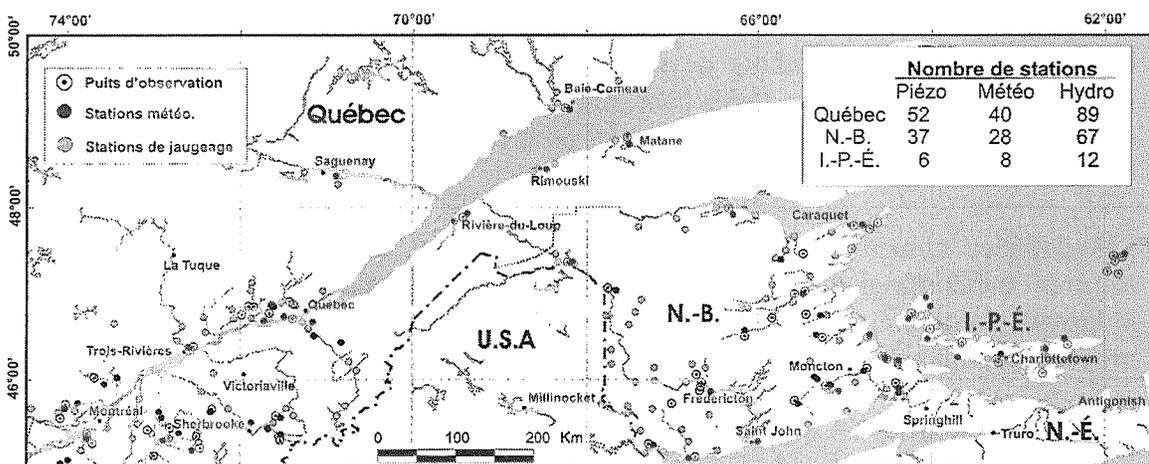


Figure 1 : Distribution spatiale de l'ensemble des stations disponibles

Les données piézométriques proviennent de la municipalité du Cap-de-la-Madeleine, des ministères de l'Environnement des trois provinces impliquées et des projets de la Commission géologique du Canada (CGC). En effet, cette étude bénéficie des mesures régulières prises dans les puits de surveillance installés dans le cadre de projets réalisés depuis 1995 dans les régions de Portneuf, au nord de Montréal et dans les provinces Maritimes. Seulement quelques puits offrent des lectures quotidiennes, la majorité présentant des données mensuelles. Très peu de puits possèdent de longues périodes de données. Les deux plus longues séries, qui s'étendent sur 35 ans, sont situées à l'Île-du-Prince-Édouard où la totalité de la population dépend des eaux souterraines pour son approvisionnement en eau potable. Les données piézométriques ont été compilées et

uniformisées afin de les représenter en altitude au-dessus du niveau moyen de la mer. Le tableau 1 présente la répartition des puits dans les différentes provinces en fonction du type de formation aquifère (fracturée ou granulaire) et de l'influence de l'activité humaine (pompage).

Tableau I : Particularités des puits étudiés

	Île-du-Prince-Édouard	Nouveau-Brunswick	Québec
Fracturé	6	27	15
Granulaire	---	10	37
Pompé	---	21	19
Non pompé	6	16	33

Les données hydrographiques sont constituées de débits enregistrés à des stations de jaugeage. Elles sont issues du CD-ROM Hydat compilé par Environnement Canada. Ces données sont généralement journalières et s'étendent sur de nombreuses années (de 1840 à 1999). Cependant, la majorité des rivières du Québec sont régularisées, de même que quelques rivières et ruisseaux du Nouveau-Brunswick et de l'Île-du-Prince-Édouard. Pour cette raison, un grand nombre de stations a donc dû être rejeté, et en particulier les stations pour lesquelles les séries sont très longues, puisque ce sont souvent les rivières qui présentaient des possibilités favorables pour l'aménagement d'un barrage qui ont très tôt fait l'objet d'un suivi.

Les données climatologiques proviennent elles aussi d'Environnement Canada. Les stations météorologiques retenues, voisines des stations piézométriques et/ou de jaugeage, présentent des valeurs quotidiennes de températures minimum, maximum et moyennes, ainsi que de précipitations (pluie, neige et totales).

En tout, seulement 15 sites ont pu être utilisés pour notre étude. Ces sites ont été sélectionnés en fonction de la qualité et de la longueur des séries météorologiques, hydrologiques et piézométriques. Ils sont présentés à la figure 2. Les nombreuses autres stations étaient inutilisables, car seules les rivières non régularisées, les puits non influencés par le pompage et les stations météo situées à moins de 50 km des stations piézométriques ou hydrographiques et dont les séries s'étendent sur 25 ans ou plus ont été jugés adéquats pour cette étude s'intéressant aux changements climatiques. Les sites de Nepisiguit Falls (N.-B.) et du Saguenay (Qc) font toutefois exception à ces règles. Nepisiguit Falls est un composite de la station de jaugeage de la rivière Upsalquitch, près de Charlo et de la station météorologique de Nepisiguit Falls, située à plus de 100 km. La raison étant que la série météo de Charlo est très courte et que la rivière Nepisiguit est régularisée et qu'aucun autre site n'était disponible dans cette région. Les hydrogrammes des deux rivières ont toutefois été comparés et sont très semblables. Par ailleurs, la rivière aux Sables au Saguenay est régularisée, mais sa série s'étend de 1917 à 1996, alors que celle de la rivière aux Écores (non régularisée) possède des enregistrements de 1967 à 1996. Ces deux séries ont été superposées et leurs variations mensuelles concordent

bien, malgré l'aménagement de rétention sur la rivière aux Sables. Le premier cours d'eau a donc été utilisé pour obtenir la tendance d'une très longue série et le second a permis de confirmer la tendance des trois dernières décennies.

Les critères de sélection pour le rejet ou la conservation des séries incomplètes ont été les suivants. Pour les séries quotidiennes de températures, s'il manque 5 jours ou moins dont pas plus de 3 consécutifs, la série mensuelle est conservée ; pour les moyennes annuelles, 15 jours manquants sont tolérés. Pour les séries quotidiennes de précipitations, pas plus de 3 jours manquants sont tolérés pour le total mensuel et pas plus de 10 jours pour le total annuel. Les données piézométriques sont généralement mensuelles et peu nombreuses et en conséquent, toutes les séries ont été conservées. Dans le cas des séries hydrométriques, si elles possèdent des « trous » inférieurs à 5 jours, elles ont été complétées par interpolation linéaire. Lorsque ces séries contiennent moins de 350 valeurs pour une année donnée, cette dernière est automatiquement rejetée. Les séries peuvent donc posséder des « trous » si, au total, elle comportent 25 ans ou plus de données.

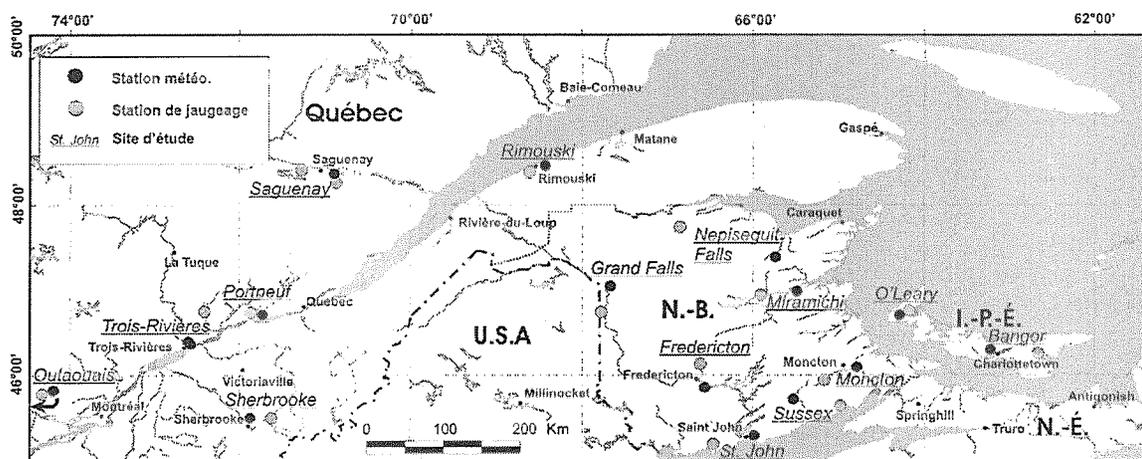


Figure 2 : Distribution spatiale des stations sélectionnées pour l'étude

Toutes ces données ont été compilées, structurées et intégrées dans une base de données, compatibles autant avec Access® qu'avec Oracle® (elle utilise 5 GB de mémoire). La base de données contient 6,77 millions d'entrées, dont 3,5% concernent la hauteur de la nappe, 27,3% les débits de rivières et 69,2% les données météorologiques (températures et précipitations). On remarque qu'il y a un manque flagrant d'information concernant les fluctuations piézométriques. Tous les fichiers originaux ont d'abord été validés et leur contenu segmenté afin d'obtenir un format d'une seule ligne par jour et par paramètre. Les vides (manque de données) ne sont pas remplis. Par exemple pour une série mensuelle, seule la donnée à la date de son enregistrement est retenue. Pour les autres jours du mois (sans donnée), aucune ligne n'est incluse dans la base. Afin de faciliter la requête des données par l'utilisateur, un module d'extraction a été spécifiquement développé pour être en mesure d'interroger la base de données de manière interactive. Ce module permet à l'utilisateur de bâtir sa requête à l'aide de menus « déroulants » et

d'options prédéfinies. Des requêtes courantes (ex : moyennes mensuelles de débits, précipitations annuelles, etc.) sont offertes à l'utilisateur. Une fois la requête exécutée, les résultats peuvent être exportés en format .CSV ou être directement envoyés vers un chiffrier (de type Excel®). Le fichier-résultats comporte les colonnes de date et des résultats des valeurs demandées et, dans Excel, un graphique est automatiquement affiché. De plus, une troisième colonne fournit le nombre de jours de façon à pouvoir juger la validité de chacune des valeurs calculées (Michaud *et al.*, 2002). L'Annexe B présente un aperçu de la structure de cette base de données et des différentes possibilités offertes dans le module d'extraction.

## 4 CALCUL DE LA RECHARGE

La recharge des nappes est définie dans un sens général comme la quantité d'eau circulant verticalement à travers la zone non-saturée et qui atteint la nappe, représentant ainsi un apport à l'aquifère. Il existe de nombreuses méthodes pour la calculer (voir Scanlon *et al.*, 2002). Dans la présente étude, deux approches ont été utilisées : une première permettant de calculer la recharge potentielle à partir des débits de base des rivières et la deuxième permettant de calculer la recharge réelle à partir des fluctuations piézométriques des nappes libres. Il est à souligner que toutes les méthodes sont approximatives et ne fournissent qu'une estimation des quantités d'eau atteignant la nappe. Chaque méthode possède ses forces et ses faiblesses et il est intéressant de pouvoir comparer les différents résultats.

### 4.1 Séparation des hydrogrammes

Les débits de base, qui représentent une estimation de l'apport d'un aquifère (écoulement souterrain) à une rivière, sont calculés à partir de la séparation d'hydrogrammes en formulant certaines hypothèses. Un hydrogramme de rivière est constitué d'eau ayant emprunté quatre chemins différents : 1) le ruissellement ou écoulement de surface, 2) l'écoulement hypodermique, qui correspond à la partie de l'eau infiltrée qui circule dans les couches supérieures du sol jusqu'à ce qu'elle refasse surface, 3) l'écoulement souterrain et 4) les précipitations tombant directement sur le cours d'eau. Généralement, la surface d'eau étant très petite comparativement à la superficie du bassin versant, ce dernier apport peut être considéré négligeable. L'hypothèse de base de la séparation de l'hydrogramme est que les écoulements ont des temps de réponse différents. Ainsi, la contribution du ruissellement cesse en premier et l'écoulement souterrain se prolonge après l'arrêt de l'écoulement hypodermique (El-Jabi et Rousselle, 1990). En période d'étiage, le débit de base fournit la grande majorité du débit du cours d'eau.

La réponse hydrologique d'un bassin versant (forme de l'hydrogramme) dépend fortement de ses caractéristiques physiographiques. Le temps de concentration (temps maximal de parcours d'une goutte d'eau lors d'une averse pour parvenir par ruissellement à l'exutoire du bassin versant), qui caractérise en partie la vitesse et l'intensité de la réaction du bassin versant à une précipitation, est influencé par diverses caractéristiques morphologiques : la taille du bassin (sa superficie), sa forme et sa pente. Par exemple, une forme allongée favorise, pour une même pluie, de faibles débits de pointe, ceci en raison des temps d'acheminement de l'eau à l'exutoire (temps de concentration) plus importants. En revanche, les bassins en forme d'éventail, présentant un temps de concentration plus court, auront de forts débits de pointe. À ces facteurs s'ajoutent encore l'influence des paramètres hydrométéorologiques qui varient en fonction de l'altitude (précipitations, température, vent, rayonnement solaire), du type de sol (propriétés d'infiltration et de rétention, perméabilité) et de son occupation.

Par ailleurs, les facteurs anthropiques tels que les prélèvements en eau, dans la nappe (pompage) ou dans le cours d'eau (irrigation), les ouvrages hydrauliques de régulation de débit (barrage) ou les rejets d'effluents dans les cours d'eau ont également une influence directe sur l'estimation des débits de base. Ces quantités ne peuvent généralement pas être quantifiées lors de l'estimation de la recharge et font donc partie de l'incertitude associée à cette approximation. De plus, toutes les méthodes de séparation d'hydrogrammes souffrent d'un manque de connaissance réelle de l'écoulement à travers le bassin versant sur une période incluant plusieurs événements pluvieux et des conditions d'humidité antécédente (Arnold *et al.*, 1995). Toutefois, la séparation des hydrogrammes est régulièrement utilisée pour estimer la quantité d'eau s'étant infiltrée jusqu'à la nappe puisqu'elle ne nécessite pas de mesures directes dans le sol (ex : par lysimètres), souvent incertaines et locales, et intègre une grande quantité d'information à l'échelle régionale sur de nombreuses années.

Il existe quatre types d'approches pour la séparation des débits de base : géochimique, graphique, par filtre et analytique. Dans le cadre de ce projet, seules les données de jaugeage et de précipitations sont disponibles et donc, les deuxième et troisième approches ont été employées, de façon à pouvoir comparer les résultats de ces différentes méthodes approximatives. De plus, deux filtres ont été sélectionnés pour fins de comparaison. La séparation est possible en faisant l'hypothèse que les hydrogrammes peuvent se diviser en deux parties distinctes : l'écoulement de surface (le ruissellement) et l'écoulement souterrain (incluant le débit de base et l'écoulement hypodermique). Le taux de recharge est calculé en multipliant le débit de base par la superficie du bassin versant pour une période donnée.

#### 4.1.1 Approche graphique

Dans l'approche graphique, on assume qu'entre deux événements pluvieux, le débit de base est équivalent au débit total du cours d'eau. Cette approche devient toutefois problématique lors d'événements pluvieux qui se chevauchent (Linsley *et al.*, 1982 cité dans Furey et Gupta, 2001). Les techniques graphiques de séparation des débits de base sont nombreuses.

L'allure générale d'un hydrogramme de débit de base (figure 3a) peut se caractériser comme suit : 1) point de départ de l'hydrogramme (point a) correspondant à la fin de la courbe de récession de la pluie précédente; 2) la récession du débit de base se continue après le début de la courbe de crue; 3) l'augmentation du débit de base, dont la pointe a lieu après celle de l'hydrogramme du débit total dû à l'effet de stockage-cheminement (point b ou e) et 4) le point final correspond au point où l'hydrogramme du débit de base rejoint l'hydrogramme du débit total lorsque l'écoulement de surface cesse (point c). Ce point coïncide avec la fin de la courbe de récession exponentielle.

Une méthode simplifiée couramment employée est illustrée à la figure 3b. Elle consiste à identifier les points de départ et d'arrêt du ruissellement. Le point de départ correspond au début de l'augmentation du débit (point A) et le point final à l'endroit où la courbe de

récession devient exponentielle (point B, Chapman et Maxwell, 1996). Une fois ces deux

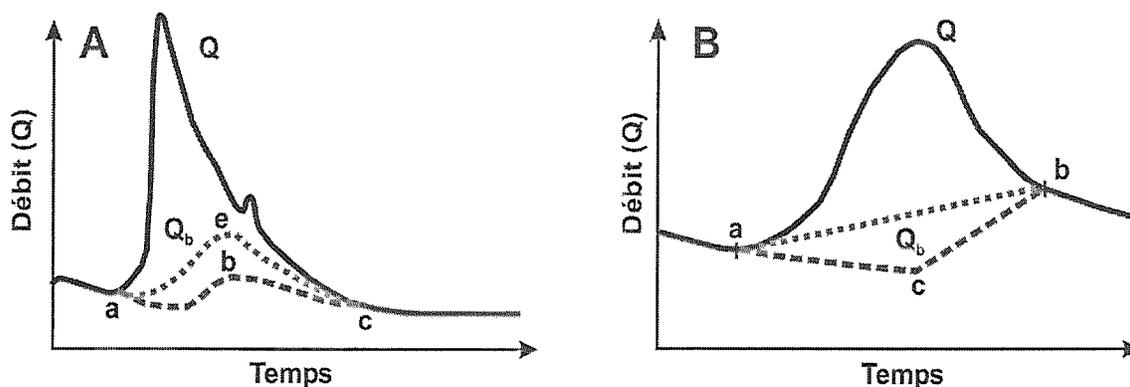


Figure 3 : Allure générale d'un hydrogramme de débit de base a) aec ou abc (d'après Nathan et McMahon, 1990) et b) ABC (d'après Chapman et Maxwell, 1996)

points établis, différentes techniques peuvent être appliquées pour tracer l'hydrogramme du débit de base. Celles-ci incluent une ligne droite reliant ces deux points et la détermination du point intermédiaire C, situé sous le sommet de l'hydrogramme de débit total, qui peut être placé en poursuivant la courbe de récession de l'hydrogramme total.

Étant donné la subjectivité de ces méthodes, plusieurs auteurs ont essayé de les automatiser pour rendre les résultats moins « aléatoires » et leur utilisation plus facile. Trois méthodes sont proposées dans le logiciel HYSEP (*HYdrograph SEparation Program*), développé par le USGS, pour calculer le débit de base : l'intervalle fixe, l'intervalle glissant et le minimum local (Sloto et Crouse, 1996).

Pour cette étude, la méthode du minimum local a été utilisée. Cette méthode surestime les débits de base (tout comme les deux autres), mais est couramment utilisée dans la pratique. Dans cette méthode, la durée du ruissellement est calculée à partir de la relation empirique  $N = A^{0.2}$ , où N est le nombre de jours après lequel le ruissellement de surface cesse et A est la superficie du bassin versant en  $\text{km}^2$ . Le principe de la méthode consiste à parcourir la série des débits de rivière pour déterminer le minimum sur l'intervalle N et à connecter entre eux tous les points ainsi trouvés. Le débit de base estimé correspond donc à une interpolation linéaire entre les minimums locaux.

#### 4.1.2 Approche par filtre

Dans la seconde approche, un filtre mathématique de type « passe-bas » est défini dans le domaine du temps et/ou des fréquences et il est appliqué par la suite aux séries quotidiennes des débits de rivières (Nathan et McMahon, 1990). Différents filtres ont été utilisés en se basant sur celui élaboré par Lyne et Hollick (1979, dans Furey et Gupta, 2001) qui considèrent que le débit est la somme de deux composantes : une composante basse fréquence représentant le débit de base et une composante haute fréquence représentant l'écoulement de surface. Les débits de base sont calculés en additionnant une

grande proportion du débit de base du temps précédent à un terme tenant compte du débit des rivières actuel et/ou passé. Les deux filtres employés et décrits ci-dessous sont ceux de Chapman (1991) et Furey et Gupta (2001), qui utilisent des relations basées sur des caractéristiques physiques pour déterminer les coefficients de proportionnalité. Ces deux méthodes n'utilisent pas de contrainte sur les équations (ex :  $0 < Q_{\text{base}} < Q_{\text{total}}$ , etc.).

Chapman (1991) a proposé une amélioration du filtre développé par Nathan et McMahon (1990), qui présentait l'inconvénient majeur de nécessiter plusieurs passages du filtre de façon à ce que le débit de base ne dépasse pas le débit de rivière vers la fin de la courbe de récession (fin du ruissellement). Le filtre amélioré par Chapman (1991), qui nécessite un seul passage, est le suivant :

$$Q_k = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} Q_{k-1} + \frac{1 - \alpha}{3 - \alpha} (Y_k + Y_{k-1}) \quad (1)$$

où  $Y_k$  est le débit de rivière au jour  $k$ ,  $Q_k$  le débit de base au jour  $k$  et  $\alpha = 0,925$ . Furey et Gupta (2001) ont quant à eux proposé un filtre basé sur quatre paramètres physiques qui ont été estimés à partir de données de débits de rivières et de précipitations. L'équation proposée par Furey et Gupta (2001) s'écrit :

$$Q_k = (1 - \gamma) Q_{k-1} + \gamma \frac{C_3}{C_1} (Y_{k-3} - Q_{k-3}) \quad (2)$$

où  $1 - \gamma = 0,97$  et  $C_3/C_1 = 1,1$ .

Le décalage des courbes issues du filtre de Furey et Gupta (2001) provient du fait que cette méthode considère que le facteur retard des eaux souterraines par rapport au ruissellement est de 3 jours (débit de base au jour  $k$  calculé en fonction du débit de base des jours  $k-1$  et  $k-3$ , et du débit total au jour  $k-3$ ). Dans certains bassins versants et dépendant de l'événement pluvieux (intensité, durée), une ou deux journées pourraient suffire pour drainer toute l'eau souterraine vers l'exutoire du bassin, d'où le problème de dépassement du débit total par le débit de base sur une base quotidienne. De plus, à cause du grand nombre de stations (situées dans des bassins dont les caractéristiques sont très différentes) à traiter et surtout pour avoir un outil facile à appliquer, les paramètres du filtre, qui sont fonction du débit total et des précipitations, ont été fixés. Les valeurs moyennes attribuées à ces paramètres contribuent probablement au problème de dépassement du débit total par le débit de base dans certains cas.

Les trois méthodes (HYSEP, Furey et Gupta, Chapman) ont été intensivement testées par une étudiante dont le stage portait spécifiquement sur le calcul des débits de base (Benhamanne, 2002). Ses conclusions étaient que 1) la méthode du minimum local de HYSEP surestime souvent le débit de base maximal lié à la fonte de neiges et 2) même si les deux filtres fournissent généralement des résultats semblables, le débit de base estimé avec le filtre de Furey et Gupta excède souvent le débit de rivière durant la période de récession. Deux exemples de résultats (moyennes mensuelles) obtenus avec les trois méthodes de séparation sur une base journalière sont présentés à la figure 4.

Pour cette étude, le but recherché était de sélectionner une méthode de séparation qui s'appliquerait à l'échelle régionale, notamment dans l'Est du Canada. La méthode de Chapman semble appropriée puisqu'elle est comparable à la méthode graphique du

minimum local d'HYSEP largement utilisée, tout en fournissant des valeurs plus probables de débits de pointe et en étant beaucoup plus conviviale. En effet, une

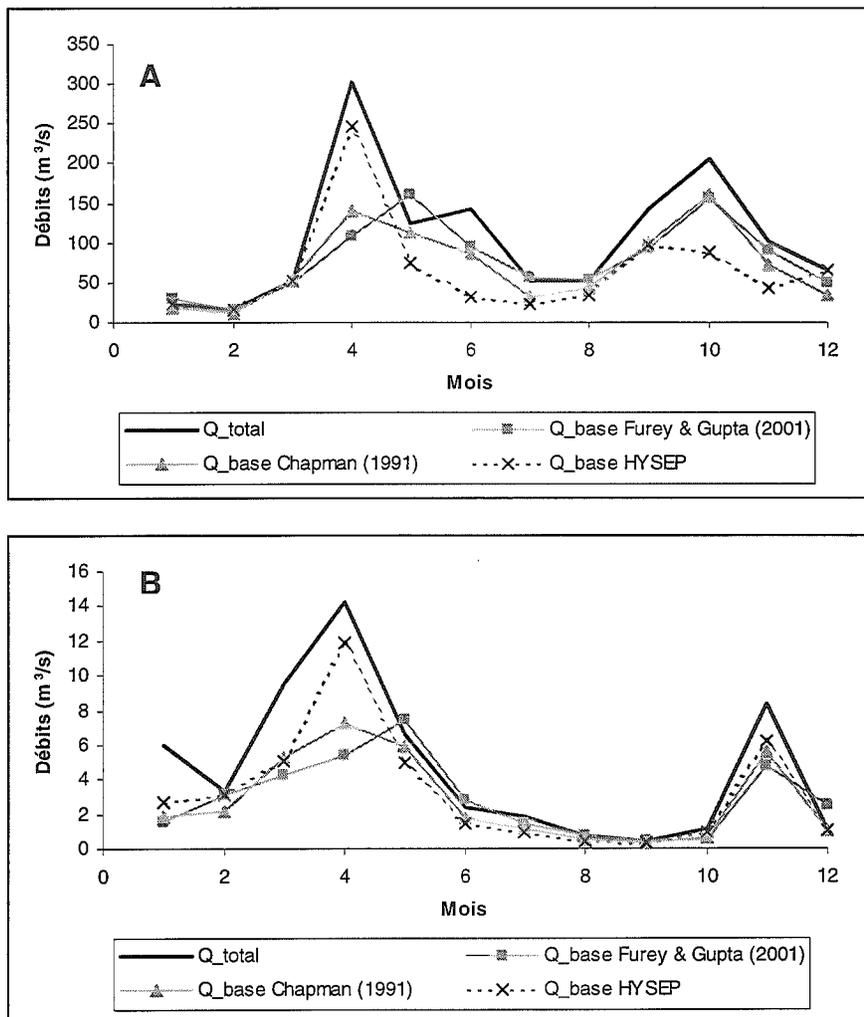


Figure 4: Comparaison des différentes méthodes de calcul du débit de base à partir de séparation d'hydrogrammes a) station 02PJ005- Rivière Chaudière, Qc, pour l'année 1954 et b) station 01BU002-Rivière Petitcodiac, N.-B., pour l'année 1995

séparation d'hydrogrammes par filtre peut facilement être réalisée à l'intérieur d'un chiffrier (ex : Excel), alors que l'utilisation d'HYSEP requiert de nombreuses étapes pour traiter les données (dont plusieurs conversions de fichiers). De plus, la méthode de Chapman possède l'avantage d'être simple d'utilisation puisqu'elle ne nécessite pas l'imposition de contraintes au débit de base, ni de passages répétitifs sur les données (itérations). Les débits de base résultants ne dépassent que très rarement (et très peu) les débits de rivière, contrairement au filtre de Furey et Gupta (2001). En conséquence, seuls les résultats obtenus avec le filtre de Chapman (1991) ont été conservés pour les sites à l'étude. Il est à noter que pour les débits moyens, les valeurs médianes sont utilisées étant donné que les distributions des débits (de base et surtout « total ») quotidiens et mensuels

ne sont pas toujours gaussiennes. Des tests ont en effet montré que l'erreur relative entre le débit moyen mensuel calculé avec la moyenne arithmétique et la médiane pouvait largement dépasser 100%, particulièrement au printemps et à l'automne. Des erreurs encore plus importantes peuvent être observées pour les débits de rivière (erreur relative maximale sur les débits mensuels pouvant atteindre 1000%).

## 4.2 Fluctuations de la nappe phréatique

L'équation permettant de calculer la recharge ( $R$ ) à partir de la variation du niveau d'eau dans les aquifères à nappe libre est  $R = n_e * \Delta h$ , où  $n_e$  est la porosité efficace (de drainage) et  $\Delta h$  correspond à la variation du niveau d'eau (Healy et Cook, 2002). Cette méthode convient mieux à de courtes périodes dans les régions ayant des nappes peu profondes qui présentent de fortes fluctuations de niveaux d'eau. Cependant, l'analyse de ces fluctuations s'est également montrée utile pour quantifier à long terme les changements de taux de recharge causés par les changements climatiques ou l'utilisation du territoire (Scanlon *et al.*, 2002).

La différence de niveaux d'eau  $\Delta h$  se calcule graphiquement, en extrapolant la courbe de récession du niveau piézométrique jusqu'au-dessous du sommet. En effet, ce point correspond au niveau que la nappe aurait atteint s'il n'y avait pas eu de précipitations. Des coefficients d'environ 20% ont été utilisés pour la porosité de drainage des aquifères fracturés (grès) et granulaires (sable) dans cette étude (valeurs tirées de Todd, 1980).

Les difficultés liées à cette méthode résident dans la détermination d'une valeur représentative de la porosité efficace et dans l'impossibilité de déterminer si les fluctuations du niveau d'eau sont dues seulement à la recharge et non pas à des activités humaines comme le pompage et l'irrigation (Healy et Cook, 2002). De plus, la valeur obtenue est locale, elle est représentative d'un rayon d'au plus 100 m.

Pour notre étude, très peu de longues séries piézométriques de qualité sont disponibles au Québec et au Nouveau-Brunswick. De plus, ces séries sont parfois liées à des puits situés dans des nappes captives ou semi-captives, ou qui semblent montrer une influence directe (pompage occasionnel du puits lui-même) ou indirecte (influence provenant de pompage à proximité) à certaines activités humaines.

## 4.3 Comparaison des deux méthodes : séparation d'hydrogrammes – fluctuations de la nappe

En résumé, deux types de données peuvent nous permettre de calculer la recharge des nappes dans le cadre de ce projet: les données provenant des puits (piézométriques) et celles des stations de jaugeage (hydrographiques, c'est-à-dire de débits de rivières). Les deux types présentent chacun leurs avantages et inconvénients. Les données piézométriques permettent d'estimer une recharge réelle, mais locale, tandis que les

débits de rivières permettent, à l'aide de la séparation d'hydrogrammes, d'estimer une recharge potentielle, mais régionale. Étant donné que la fréquence des mesures des données de débits de rivières est généralement nettement plus grande et que les séries temporelles sont beaucoup plus longues que celles des données piézométriques, et aussi parce que notre étude est régionale, il nous apparaissait plus pertinent d'étudier les tendances de la recharge des nappes en utilisant les données hydrographiques (estimation des débits de base). Au départ, nous avons donc comparé les valeurs obtenues selon les deux méthodes à des endroits où de longues séries piézométriques étaient disponibles, avec des stations météorologiques et hydrométriques à proximité de façon à établir la relation entre les données hydrologiques et piézométriques (Michaud *et al.*, 2002).

Pour ce faire, les longues séries de données piézométriques de plusieurs sites (dans chacune des provinces) ont été comparées aux courbes de débits de base évalués à l'aide du filtre de Chapman pour une rivière voisine. Les fluctuations piézométriques plutôt que les valeurs de recharge ont été conservées pour fins de comparaison puisque les valeurs de recharge ne sont obtenues qu'au sommet des remontées de la nappe, soit une ou deux fois par année avec des données mensuelles. Les comparaisons à différents sites, pour des nappes libres et semi-captives, ont montré une bonne adéquation entre les courbes. En effet, les variations du débit de base reflètent assez fidèlement les fluctuations piézométriques durant la période de chevauchement des deux courbes.

Un exemple de superposition pour la région Fredericton (N.-B.) est illustré à la figure 5. La série piézométrique provient de la station Harvey Station, située à 40 km au sud-ouest de Fredericton. Elle couvre la période 1979-1991 (longueur représentative des séries piézométriques) et présente des données mensuelles. Le puits de surveillance est situé dans un aquifère granulaire à nappe libre. La série hydrologique de la station North Branch Oromocto (la rivière St-John étant régularisée) est quotidienne et s'étend de 1961 à 1999. La figure 5a permet la comparaison des données piézométriques avec celles des débits de base. Sans que les fluctuations des courbes soient identiques, ces deux courbes montrent des similitudes qui témoignent d'une bonne représentativité des débits de base pour estimer les quantités d'eau atteignant la nappe. Il faut garder à l'esprit que ces deux méthodes sont issues d'approches très différentes et que l'une est locale et l'autre régionale. Le bassin versant de la rivière étudiée est de 557 km<sup>2</sup>. La superposition des données de précipitations à celles de débits de base est également présentée pour visualiser les tendances ; ces courbes montrent une forte corrélation (Figure 5b). Des moyennes mobiles de 3 mois (Fig. 5a) et de 15 mois (Fig. 5b) mois ont été utilisées afin de lisser les courbes tout en faisant ressortir les principales fluctuations.

Une des plus longues séries piézométriques est celle de O'Leary (I.-P.-É.). Cette série couvre la période 1968-2001, tandis que la série hydrologique s'étend de 1961 à 1999 (figure 6). La fréquence des données des deux séries est généralement quotidienne ; cependant, la série hydrologique est plus complète. Ce puits est situé dans un aquifère fracturé à nappe semi-captive à libre. En effet, la stratigraphie du puits montre qu'il n'y a que 4 m de till sableux en surface. Cette série est comparée aux débits de base du ruisseau Carruthers à la figure 6a. Le bassin versant de ce ruisseau n'est que de 46,8 km<sup>2</sup>. Le patron des deux courbes est quasi identique. Le fait que le bassin versant du ruisseau soit

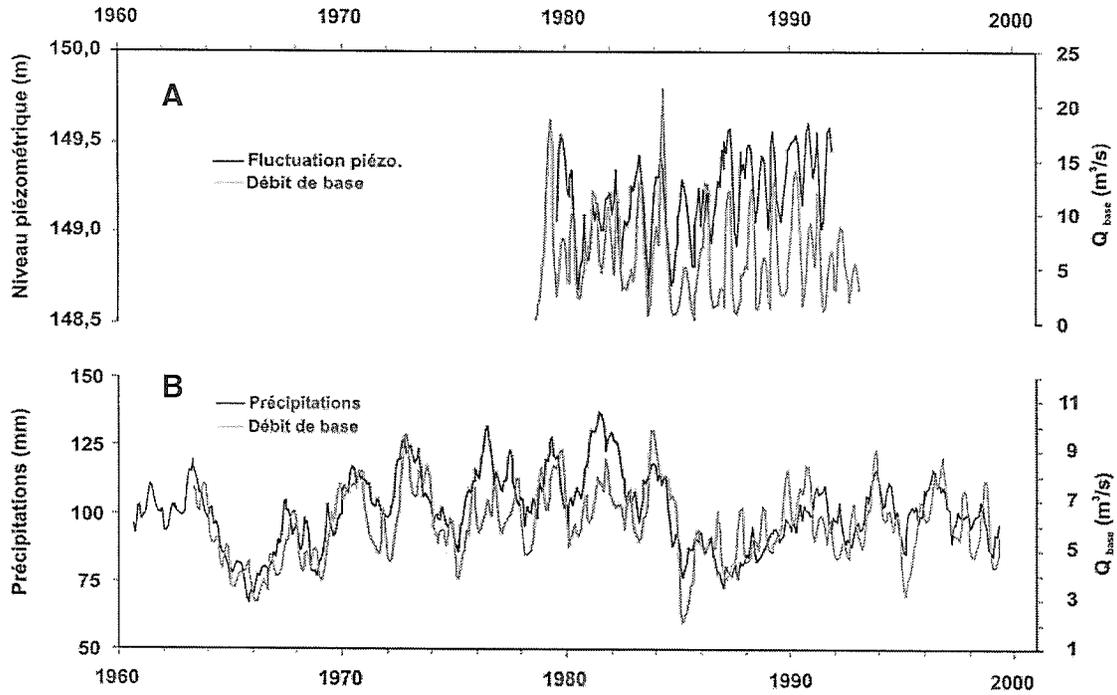


Figure 5: Séries mensuelles à Fredericton, N.-B. a) Fluctuations piézométriques et débits de base, MM=3 mois et b) Précipitations et débits de base, MM=15 mois

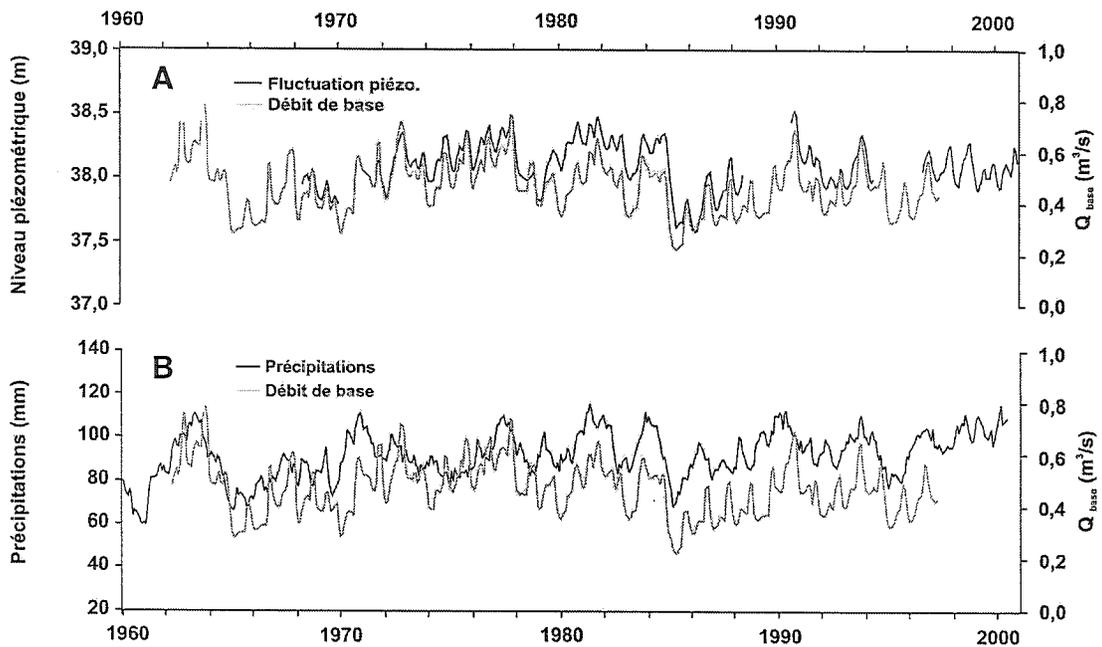


Figure 6: Séries mensuelles O'Leary, I.-P.-É., MM=15 mois a) Niveaux piézométrique et débits de base et b) Précipitations et débits de base

petit et que les données piézométriques soient fréquentes contribue sûrement à la bonne adéquation des courbes. La comparaison entre les courbes de précipitations et de débits de base est également présentée à la figure 6b.

Nos tests aux différentes stations ont démontré que la recharge peut être estimée de façon assez représentative à partir des débits de base dans de nombreux cas. Puisque les séries hydrologiques sont plus complètes et nettement plus longues que les séries piézométriques (sauf à l'I.-P.-É.), la séparation d'hydrogrammes a donc été employée dans notre étude pour étudier l'influence des changements climatiques sur la recharge.

Cependant, lorsque les rivières sont régularisées, les débits de base ne peuvent pas être utilisés pour quantifier la recharge des nappes et les fluctuations piézométriques devraient donc être utilisées. Toutefois, si la série piézométrique n'est pas disponible, trop courte ou de piètre qualité, les débits de rivières peuvent toujours servir à donner un ordre de grandeur de la recharge sur une base annuelle lorsque les réservoirs sont petits. En effet, les petits aménagements de rivières servent souvent à des fins récréatives, et donc ne retiennent l'eau que pour avoir un niveau d'eau suffisamment élevé durant la période estivale. De plus, il est à noter que les deux méthodes de calcul de la recharge ne sont valables que pour les aquifères à nappe libre. La recharge obtenue à partir des débits de base pour des nappes captives et semi-captives ne représente que la quantité d'eau qui s'est infiltrée, correspondant à une recharge « potentielle ».



## 5 DÉTECTION DES TENDANCES

Étant donné l'inquiétude grandissante des dernières années concernant les gaz à effet de serre et à leurs impacts sur l'environnement, de nombreuses recherches ont tenté d'identifier les tendances des données hydro-météorologiques telles que la température, les précipitations et les débits de rivières. Dans cette étude, deux approches ont été employées : les régressions linéaires qui servent souvent de première approche dans l'analyse des séries chronologiques, puis le test statistique non paramétrique de Mann-Kendall, plus rigoureux. Les valeurs annuelles des données de températures moyennes, de précipitations totales et de recharge calculée à partir des débits de base ont été étudiées pour détecter les tendances globales, puis les valeurs mensuelles ont été examinées de façon à identifier les périodes connaissant des augmentations ou des diminutions à l'intérieur du cycle annuel. Les valeurs annuelles permettent de s'affranchir des variations saisonnières (mensuelles) et d'utiliser le plus de stations possible, même pour une station en amont d'un petit barrage. Les températures moyennes correspondent à la moyenne arithmétique des températures moyennes journalières (les données étant approximativement normalement distribuées), tandis que les précipitations totales et la recharge sont calculées en additionnant les valeurs obtenues de façon quotidienne.

Notre étude s'est faite en quatre étapes :

- 1) Sélectionner les variables et les stations, à partir des contraintes à chacun des sites (qualité et longueur des séries disponibles, influence de pompage, régulation des rivières, etc.) ;
- 2) Estimer la recharge annuelle ;
- 3) Détecter les tendances pour les températures, les précipitations et la recharge à partir de régressions linéaires ;
- 4) Effectuer le test de Mann-Kendall sur ces mêmes séries avec un seuil de 10% (correspondant à un niveau de confiance de 90%).

### 5.1 Régression linéaire

Dans un premier temps, les données des différentes stations en fonction du temps ont simplement été placées sur des graphiques et la pente issue d'une régression linéaire a été calculée pour permettre une détection visuelle des tendances. En théorie, la régression linéaire permet de déterminer la droite du plan affine qui s'ajuste au mieux à un ensemble de  $n$  points de mesure  $y_i(x_i)$ . Autrement dit, en supposant que les écarts des mesures par rapport à une droite sont normalement distribués, on cherche à ajuster par moindres carrés le modèle linéaire à deux paramètres  $(a, b)$  :  $y(x)=a \cdot x+b$ , où  $a$  est la pente et  $b$  l'ordonnée à l'origine de la droite recherchée (dite de régression). Ce test de tendance consiste donc à vérifier si la pente «  $a$  » est significativement différente de zéro. La régression linéaire permet d'obtenir rapidement une idée de la tendance générale des séries puisqu'elle peut être directement obtenue dans un chiffrier. Toutefois, ce test peut mener à une interprétation erronée (indication d'une tendance quand en réalité la pente

est nulle) si des saisonnalités sont présentes, si les données ne sont pas normalement distribuées ou si elle sont corrélées (Gilbert, 1987).

## 5.2 Traitement statistique des données

L'utilisation d'un test statistique, contrairement à une constatation visuelle à partir d'une courbe tracée sur un graphique, permet une différenciation plus rigoureuse des variabilités naturelles des tendances réelles. Pour cette raison, nous avons procédé à la détection des tendances avec le test statistique couramment employé de Mann-Kendall. L'avantage majeur d'un test statistique non paramétrique est que celui-ci est mieux adapté à l'étude de séries incomplètes et dont les données ne sont pas normalement distribuées, ce qui est généralement le cas dans les séries historiques hydrologiques (Yue *et al.*, 2002).

Les données hydrologiques possèdent souvent des corrélations dont on doit tenir compte car elles diminuent la taille « effective » des échantillons. L'existence de corrélations positives (persistance) dans les données accroît la probabilité du test de Mann-Kendall à détecter une tendance significative (Yue *et al.*, 2002). Ceci entraîne des résultats biaisés, puisque l'hypothèse nulle (aucune corrélation) sera trop souvent rejetée. Un traitement préalable des données doit donc être effectué.

### 5.2.1 Test non paramétrique de Mann-Kendall

Le test de Mann-Kendall, également appelé le test « Kendall's tau », est un test non paramétrique basé sur le rang, qui permet d'évaluer l'existence d'une tendance monotone significative ou non. L'hypothèse nulle  $H_0$  représente le cas d'un échantillon dont les données sont indépendantes, sans corrélation. L'hypothèse alternative  $H_1$  correspond au cas où les données de l'échantillon présentent une tendance monotone. La statistique  $S$  du test de Mann-Kendall se définit comme suit (Gilbert, 1987):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(X_j - X_i) \quad (3)$$

où  $X_j$  sont les valeurs séquentielles de la série,  $n$  est la longueur de la série et

$$\text{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{si } \theta > 0 \\ 0 & \text{si } \theta = 0 \\ -1 & \text{si } \theta < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Ce test est particulièrement utile puisqu'il permet d'étudier des séries incomplètes et que les données n'ont pas besoin de se conformer à une distribution statistique. Par contre, lorsque  $n \geq 40$ , la statistique  $S$  est reconnue être approximativement normalement distribuée, avec une moyenne et une variance (Gilbert, 1987):

$$E(S) = 0$$

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[ n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right] \quad (5)$$

où  $g$  est le nombre de groupes dont les valeurs sont égales (*tied groups*) et  $t_p$  est le nombre de données dans le  $p^{\text{ième}}$  groupe (par exemple dans la séquence {23, 24, 6, 6, 2, 24, 6},  $g=2$ ,  $t_1=2$  pour la valeur 24 et  $t_2=3$  pour la valeur 6). La variable  $Z$  est calculée à partir de  $S$  et de  $VAR(S)$  :

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{si } S > 0 \\ 0 & \text{si } S = 0 \\ \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} & \text{si } S < 0. \end{cases} \quad (6)$$

Une valeur positive de  $Z$  indique une tendance croissante, alors qu'une valeur négative de  $Z$  indique inversement une tendance décroissante. Si l'hypothèse nulle  $H_0$  (aucune tendance) est vraie, la statistique  $Z$  est normalement distribuée et donc, un tableau de la distribution normale cumulative ( $\alpha$  vs  $Z_\alpha$ ) peut être utilisé pour rejeter ou non l'hypothèse  $H_0$  avec le seuil  $\alpha$  choisi. Pour un test bilatéral (*two-tailed test*) visant la détection d'une tendance croissante ou décroissante à un seuil de confiance  $\alpha$ ,  $H_0$  est rejetée si la valeur absolue de  $Z$  est supérieure à  $Z_{1-\alpha/2}$ . Pour détecter une tendance croissante sur un test unilatéral (*one-tailed test*) à un seuil de confiance  $\alpha$ ,  $H_0$  est rejetée si  $Z$  est supérieure à  $Z_{1-\alpha}$ . Par contre,  $H_0$  sera rejetée en faveur de l'hypothèse alternative d'une tendance décroissante si  $Z$  est négatif et sa valeur absolue supérieure à  $Z_{1-\alpha/2}$  (Gilbert, 1987).

### 5.2.2 Traitement préalable des données

S'il existe des corrélations positives (les plus fréquentes dans les séries hydrologiques) à l'intérieur d'une série historique, le test de Mann-Kendall suggérera une tendance significative (rejet de l'hypothèse nulle) plus souvent que spécifié par le seuil de confiance alors que la série est en fait aléatoire. Les corrélations positives ne modifient pas la normalité asymptotique de la statistique  $S$ , ni sa moyenne, mais changent la dispersion des données, c'est-à-dire qu'elles modifient sa variance. Plus la corrélation est forte, plus la variance augmente, entraînant ainsi une augmentation de la probabilité de détection d'une tendance significative, alors qu'aucune tendance n'est réellement présente. Dans le but de limiter l'influence des corrélations dans les données, plusieurs personnes ont proposé d'utiliser le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1 (correspondant au coefficient du modèle d'auto-régression AR(1)) comme filtre (appelé *pre-whitening*). En effet, les coefficients d'autocorrélation pour des ordres supérieurs à 1 sont généralement non significativement différents de zéro (Zhang *et al.*, 2000). Cette méthode comprend les quatre étapes suivantes :

$$X_t = X_t - r_1 \cdot X_{t-1} \quad (7)$$

où  $X_t$  est la donnée au temps  $t$  et  $r_1$  est le coefficient d'autocorrélation d'ordre 1. Si  $r_1$  est compris dans l'intervalle de confiance:

$$\frac{-1 - 1,645\sqrt{n-2}}{n-1} \leq r_1 \leq \frac{-1 + 1,645\sqrt{n-2}}{n-1},$$

l'échantillon de données est considéré non corrélé et cette étape n'est pas requise.

Toutefois, Yue *et al.* (2002) ont trouvé que cette méthode, à l'inverse, sous-estimait la probabilité d'une tendance significative. Ils ont donc proposé une méthode incorporant d'abord le calcul de la pente selon la méthode de Sen:

$$m = \text{médiane} \left( \frac{X_j - X_l}{j - l} \right) \quad \forall l < j \quad (8)$$

où  $m$  est l'estimation de la pente de la tendance et  $X_j$  et  $X_l$  sont respectivement la  $j^{\text{ième}}$  et la  $l^{\text{ième}}$  observation ( $j > l$ ). La pente ainsi calculée est une estimation robuste de l'importance (*magnitude*) de la tendance. En effet, s'il y a présence de certaines données étrangement élevées ou faibles, l'estimation de la pente par régression linéaire peut dévier grandement de la « vraie » pente. La méthode non paramétrique de Sen n'est pas très affectée par la présence de valeurs anormales ou extrêmes et peut être calculée lorsque des données sont manquantes. La méthode développée par Yue *et al.* (2002), qui est celle que nous avons adopté dans cette étude, se résume ainsi:

- 1) Calculer d'abord la pente  $m$  de la série. Si elle est différente de zéro, elle est alors supposée linéaire et les données sont transformées comme suit :

$$X'_t = X_t - T_t = X_t - mt \quad \text{où } T : \text{tendance} \quad (9)$$

- 2) Calculer le coefficient de corrélation  $r_1$  de la série des données  $X'_t$  de façon à éliminer les corrélations AR(1) :

$$Y'_t = X'_t - r_1 \cdot X'_{t-1} \quad (10)$$

- 3) Combiner les deux méthodes pour retrouver la tendance, sur une série non influencée par les effets de la corrélation :

$$Y_t = Y'_t + T_t \quad (11)$$

- 4) Appliquer le test de Mann-Kendall sur la série des données transformées  $Y_t$  pour évaluer la présence ou non d'une tendance significative.

D'autre part, Yue et Wang (2002) ont conclu qu'il était préférable de ne pas appliquer de pre-whitening lorsque les échantillons étaient de grande taille ( $n > 60$ ) et que les tendances étaient fortes, car les corrélations positives pouvaient dans ce cas diminuer le taux de rejet de l'hypothèse nulle. Toutefois, l'analyse des données disponibles pour cette étude a montré que très peu de différences apparaissaient (avec et sans pre-whitening) et que les conclusions restaient inchangées.

La pente de Sen ( $m$ ) sert également à quantifier l'augmentation ou la diminution des paramètres sur la période étudiée :

$$\text{Variation (\%)} = \frac{m \times n}{E(X_t)} \times 100 \quad (12)$$

où  $E(X_t)$  est l'espérance mathématique des données de la série et  $n$  la longueur de cette série. La pente  $m$  utilisée pour calculer la variation est celle obtenue à partir des séries traitées selon la méthode de Yue *et al.* (2002).

## 6 TENDANCES RÉGIONALES ET ÉTUDE D'INDICES D'ADAPTATION POTENTIELS

Les stations étudiées dans cette section ont été sélectionnées en fonction de la qualité et de la longueur des séries temporelles, de leur répartition spatiale, de la représentativité des diverses conditions hydrogéologiques (aquifère granulaire ou fracturé, nappe semi-captive ou libre, etc.) et des problématiques spécifiques. En effet, certaines municipalités utilisant majoritairement l'eau souterraine provenant d'aquifères de surface, comme par exemple Cap-de-la-Madeleine, ont parfois observé au cours des dernières années un abaissement de la nappe. Celles-ci doivent en conséquence recourir à des interdictions occasionnelles telles que l'arrosage des pelouses durant la période estivale pour assurer l'approvisionnement. Ces endroits, sensibles aux fluctuations de la nappe, présentent donc un intérêt particulier pour notre étude.

Les deux sous-sections suivantes présentent les résultats de l'étude de tendances annuelles et mensuelles des différentes variables et de celle des divers facteurs influençant la hauteur des nappes de façon à développer des indices stratégiques visant une meilleure gestion de la ressource en eau souterraine.

### 6.1 Tendances régionales

À cause des nombreuses contraintes imposées pour étudier les tendances combinées des températures moyennes, précipitations totales et recharge (longueur minimale des séries de 25 ans, rivière non régularisée, nappe libre ou semi-confinée, station météo à proximité), seulement 15 sites (6 au Québec, 7 au Nouveau-Brunswick et 2 à l'Île-du-Prince-Édouard) ont pu être utilisés. Il est à noter que la station Bangor sur l'Î.-P.-É a été conservée même si la station météo n'a débuté qu'en 1973 et que, conséquemment, les données météorologiques et piézométriques ne se chevauchent que sur 22 ans. Sinon, une seule station était disponible sur l'île. Les valeurs annuelles et mensuelles des températures, des précipitations et de la recharge calculée à partir des débits de base ont été étudiées avec les deux méthodes décrites au chapitre 5. Les stations sont plus ou moins bien distribuées spatialement sur le territoire étudié, mais couvrent généralement les régions les plus densément peuplées. Au Québec, la principale contrainte est que la très grande majorité des rivières sous surveillance est régularisée. Au Nouveau-Brunswick, la majorité de la population est concentrée dans la partie est de la province et donc, les stations ont été installées dans ces régions.

Lorsque disponibles, les données de la base HCCD (Historical Canadian Climate Database), qui sont des séries de précipitations et de températures mensuelles corrigées, homogénéisées et ajustées par rapport aux données *in situ* par le Service météorologique du Canada (Meteorological Service of Canada, 2002), ont été utilisées. Ces données sont hautement fiables, car elles représentent des séries généralement longues, complètes et qui ont été calibrées.

### 6.1.1 Valeurs annuelles

Les pentes des régressions linéaires des valeurs annuelles de températures moyennes, précipitations totales et recharge ont d'abord été utilisées pour caractériser les tendances. L'ensemble des graphiques est présenté à l'annexe C. Les figures 7 et 8 présentent les résultats de ces tendances (pouvant être appelées « visuelles ») pour les températures et les précipitations pour les séries complètes (période variable pour laquelle des données sont disponibles) des 15 stations étudiées. Un triangle vers le haut indique une tendance à la hausse, un triangle vers le bas correspond à une tendance décroissante et un cercle indique qu'aucune tendance n'a été détectée à cette station. Pour l'ensemble des stations météorologiques étudiées, les températures ainsi que les précipitations annuelles montrent en grande majorité des tendances à la hausse, plus ou moins fortes. Ces résultats sont d'ailleurs en accord avec de nombreuses études, réalisées à partir de données historiques (Zhang *et al.*, 2000 pour le Canada) ou avec les modèles de circulation générale (MCG) (décrites dans IPCC, 2002). Seules les stations de l'Outaouais (Qc) pour les précipitations et celles de Trois-Rivières (Qc), Miramichi et Grand Falls (N.-B.) et Bangor (I.-P.-É.) pour les températures ne présentent aucune tendance (ou très faible).

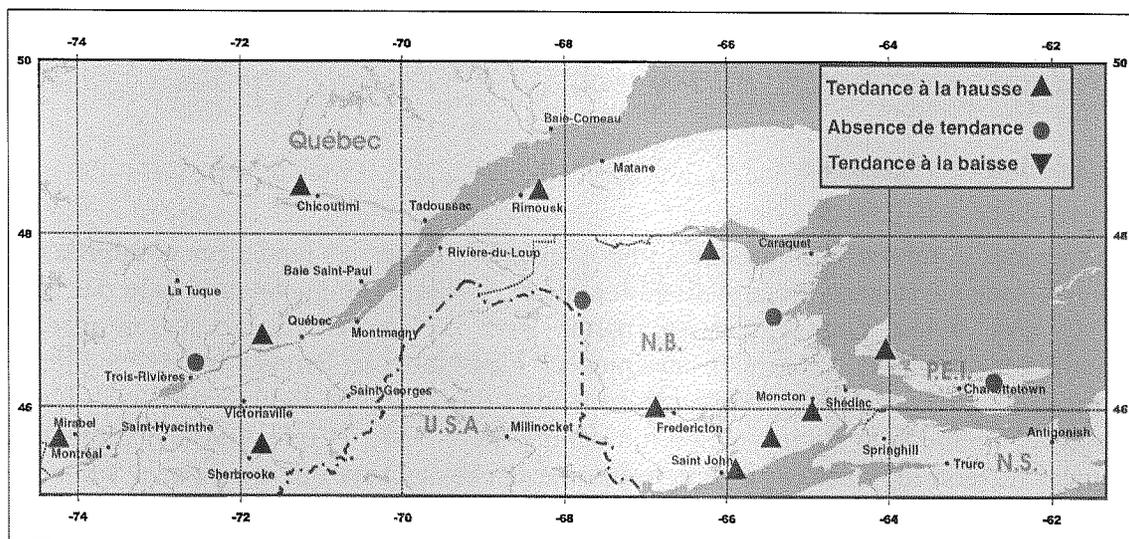


Figure 7 : Distribution des tendances annuelles pour les températures obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes

Les tendances pour la recharge estimée à partir des débits de base sont illustrées à la figure 9. Deux stations montrent des tendances à la hausse, 4 à la baisse et 10 aucune tendance (ou très faible). L'étude de Burn et Hag Elnur (2002) indiquait également que peu de tendances significatives étaient présentes (25% sur une période de 47 ans et 12,8% sur une période de 37 ans) pour les débits annuels de rivières sur l'ensemble du Canada.

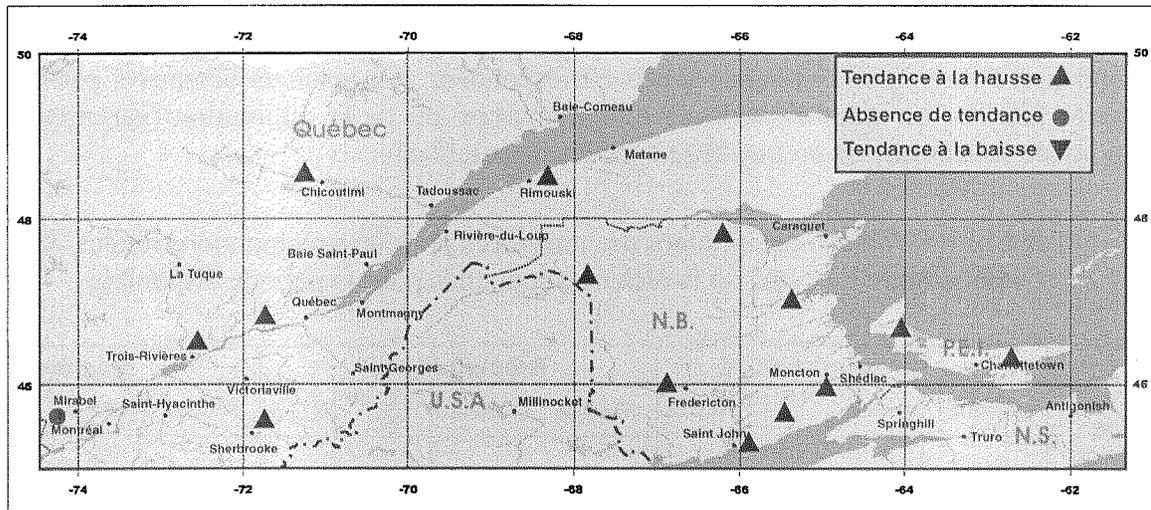


Figure 8 : Distribution des tendances annuelles pour les précipitations obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes

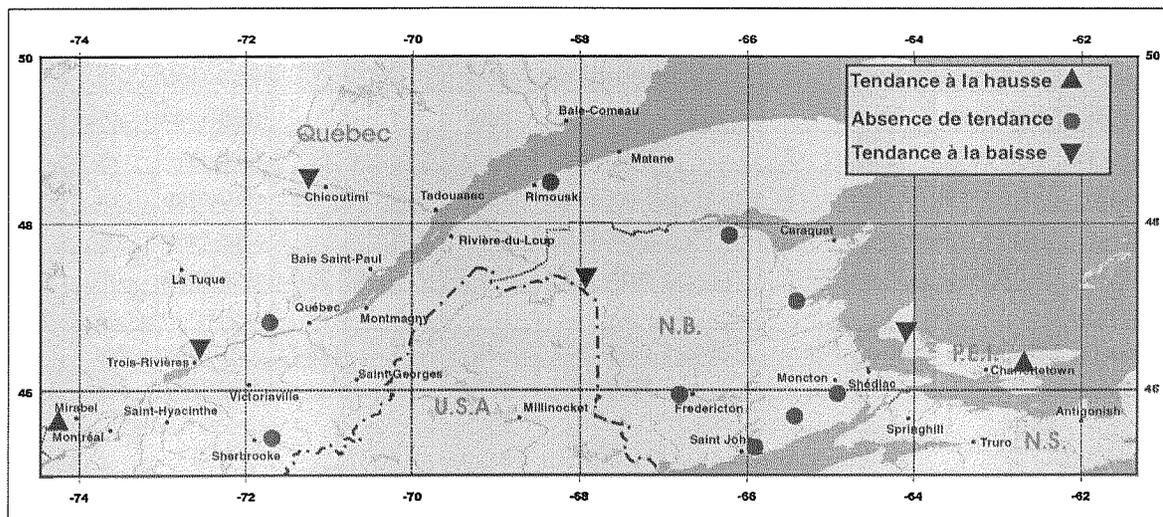


Figure 9 : Tendances annuelles régionales pour la recharge obtenues à partir des régressions linéaires pour les séries complètes

Par la suite, le test de Mann-Kendall, effectué selon la méthode de Yue *et al.* (2002) et pour un seuil de 10% ( $\alpha=0,1$ ), a été appliqué à toutes ces mêmes stations pour les trois paramètres sur la période complète où des données sont disponibles, de même que sur une période fixe de 30 ans pour fins de comparaison. Ainsi, seules les données comprises à l'intérieur de la période 1970 à 1999 ont été conservées pour la seconde série de tests. Nous sommes conscients que cette période est très courte pour ce genre d'étude, mais malgré cela, seulement 7 sites répondent parfaitement à ce critère pour les trois paramètres (données disponibles de 1970-1999), les autres ont un peu moins de 30 ans de

données ( $\geq 24$  ans). Le récapitulatif des résultats est présenté aux tableaux II et III. Une flèche vers le haut indique une tendance à la hausse et une flèche vers le bas, une tendance à la baisse. Les zones grises correspondent aux résultats obtenus à partir des séries HCCD. La quantification de l'augmentation ou de la diminution (variation) est indiquée sous forme de pourcentage dans les deux tableaux.

Tableau II : Tableau récapitulatif des tendances pour les précipitations totales, la température moyenne et la recharge annuelles pour la période disponible

	Température				Précipitations				Recharge			
	Période	Variation	N.C. de 90%	N.C.%	Période	Variation	N.C. de 90%	N.C.%	Période	Variation	N.C. de 90%	N.C.%
<b>Qc</b>												
Sherbrooke	1910-1998	29%	↑		1910-1999	5%		75 ↑	1955-1996	2%		60 ↑
Saguenay*	1910-1998	17%	↑		1943-1999	15%	↑		1943-1995	-9%		85 ↓
Outaouais	1915-1999	18%	↑		1915-1999	-1%		50 ↓	1927-1996	36%	↑	
Rimouski	1915-1999	47%	↑		1915-1998	8%	↑		1964-1995	11%		85 ↑
Portneuf	1954-1998	22%	↑		1954-1996	18%	↑		1968-1996	3%		65 ↑
Trois-Rivières	1936-2001	-3%		75 ↓	1936-2001	11%	↑		1969-1997	-12%		80 ↓
<b>N.-B.</b>												
Miramichi	1944-2001	0%		60 ↓	1945-2001	9%		80 ↑	1953-1999	4%		65 ↑
Sussex	1915-1999	20%	↑		1915-1999	26%	↑		1966-1999	-6%		65 ↓
Grand Falls	1930-1991	-6%		70 ↓	1921-1991	28%	↑		1969-1993	-22%	↓	
Nepiseguit Falls	1923-2000	16%	↑		1923-1999	4%		65 ↑	1920-1999	-2%		60 ↓
Fredericton	1915-1999	14%	↑		1915-1999	15%	↑		1963-1999	8%		60 ↑
Moncton	1915-1999	14%	↑		1915-1999	29%	↑		1963-1999	1%		50 ↑
St-John	1915-1999	21%	↑		1915-1999	4%		75 ↑	1920-1999	-6%		75 ↓
<b>I.-P.-É.</b>												
Bangor	1944-1999	0%		55 ↓	1915-1999	3%		75 ↑	1967-1994	8%		80 ↑
O'Leary	1962-2000	29%	↑		1960-2000	17%	↑		1963-1999	-4%		60 ↓

N.C. : Niveau de confiance

Le grisé indique que les séries météorologiques proviennent de la base HCCD.

\*Avec la rivières aux Sables (régularisée)

Pour la période complète, le nombre de tendances qui sont considérées significatives avec un seuil de 10% est très variable d'un paramètre à l'autre, mais les paramètres météorologiques (températures et précipitations) sont distinctement à la hausse partout sur le territoire à l'étude. Neuf des 15 stations (60%) présentent des tendances significatives à la hausse pour les précipitations totales, 11 (73%) montrent des tendances également à la hausse pour les températures moyennes et seulement 2 stations présentent des tendances significatives pour la recharge (une à la baisse et une à la hausse). Pour un niveau de confiance de 90%, les augmentations de températures moyennes varient entre 14 et 47% (avec une valeur médiane à 20%) et celles de précipitations totales de 8 à 29% (avec une valeur médiane à 17%). Ces augmentations moyennes, à ou près de 20%, peuvent être considérées relativement importantes. Une interpolation pour représenter la distribution spatiale des variations s'avérait impossible dans notre cas vu la faible densité

de sites que nous avons sur le territoire. Zhang *et al.* (2000) présentent une distribution spatiale des tendances « quantifiées » de ces deux paramètres à travers le Canada. Les tendances significatives pour la recharge n'ont pas de direction préférentielle et sont trop peu nombreuses pour pouvoir être quantifiées de façon fiable.

Tableau III : Tableau récapitulatif des tendances pour les précipitations totales, la température moyenne et la recharge annuelles pour la période 1970-1999

	Température			Précipitations			Recharge		
	Variation	N.C. de 90%	N.C.%	Variation	N.C. de 90%	N.C.%	Variation	N.C. de 90%	N.C.%
<b>Qc</b>									
Sherbrooke	8%		80 ↑	-22%	↓		-22%	↓	
Saguenay*	8%		85 ↑	-5%		65 ↓	-13%		80 ↓
Outaouais	17%	↑		-10%	↓		-5%		60 ↓
Rimouski	30%	↑		-6%		80 ↓	4%		60 ↑
Portneuf	12%		80 ↑	18%	↑		-11%		80 ↓
Trois-Rivières	4%		70 ↑	4%		60 ↑	-8%		75 ↓
<b>N.-B.</b>									
Miramichi	14%	↑		-2%		50 ↓	-4%		65 ↓
Sussex	23%	↑		-1%		55 ↓	-16%		80 ↓
Grand Falls	14%	↑		-6%		60 ↓	-15%		85 ↓
Nepiseguit Falls	17%	↑		-5%		60 ↓	-5%		60 ↓
Fredericton	9%	↑		-10%		85 ↓	-2%		55 ↓
Moncton	4%		60 ↑	-11%	↓		-17%		80 ↓
St-John	2%		65 ↑	-27%	↓		-22%	↓	
<b>I.-P.-É.</b>									
Bangor	10%	↑		-3%		60 ↓	5%		65 ↑
O'Leary	16%	↑		7%		80 ↑	-16%		80 ↓

\*Avec la rivière aux Écores

Pour la période fixe de 30 ans (1970-1999), l'occurrence de tendances significatives aux diverses stations et de tendance régionale claire pour les précipitations diminue drastiquement (une seule station à la hausse, 4 stations à la baisse). L'étude de Zhang *et al.* (2000), calculant les tendances dans les précipitations et les températures de tout le sud du Canada durant le dernier siècle (1900-1998), corrobore ces résultats. Celle-ci conclue qu'une tendance monotone à la hausse est généralement présente de 1920 à 1970 pour les précipitations, mais que les tendances ne sont plus significatives par la suite (1970-1998). Pour cette même période, également peu de tendances pour la recharge sont significatives à un seuil de 10% (seulement 2, à la baisse). Seules les températures semblent être toujours croissantes puisque 9 des 15 stations (60%) présentent des tendances à la hausse (6 de ces stations avaient également montré des tendances significatives pour la période complète). Cette fois, les augmentations varient entre 9 et 23% avec une valeur médiane à 16%, soit une légère diminution par rapport à la période complète de données.

Afin de comparer le niveau de confiance des tests effectués avec les régressions linéaires, le test de Mann-Kendall a été appliqué à nouveau avec différents seuils. Le niveau de confiance (N.C.) auquel la tendance a été détectée est inscrit à côté de la flèche indiquant la direction de la tendance dans la colonne à droite de celle du niveau de 90%. Pour la période complète de données, le nombre de tendances détectées pour les trois paramètres avec les régressions correspondrait approximativement à celui trouvé avec un niveau de confiance de 75%. Les tendances supplémentaires obtenues avec des niveaux de confiance supérieurs à 75% (mais inférieurs à 90%) ont d'ailleurs été ajoutées sur les figures (Annexe C). Il est intéressant de constater à partir du tableau III que pour la période de 30 ans, 11 tendances à la baisse supplémentaires sont détectées avec un seuil de confiance de 60% ou plus pour la recharge et 6 tendances additionnelles avec un niveau de 80%. Des tendances à la baisse dans les débits annuels de rivières avaient été remarquées par Zhang *et al.* (2001) particulièrement dans la partie sud du Canada durant les derniers 30 à 50 ans et par Morin et Slivitzky (1992) pour la rivière Moisie (Qc). De plus, une tendance à la baisse de la recharge concorde avec les résultats des modèles généraux de circulation simulant une augmentation du CO<sub>2</sub> (McLaren et Sudicky, 1993 ; IPCC, 1996).

Les figures C-1 à C-3 de l'annexe C présentent la distribution spatiale des tendances obtenues avec le test de Mann-Kendall pour un seuil de 10% pour les trois paramètres (températures moyennes, précipitations totales et recharge obtenue à partir des débits de base) pour la période complète de données. Les figures C-4 à C-6 sont similaires, mais pour la période allant de 1970 à 1999.

Les tableaux II et III permettent de constater que les précipitations totales et les températures moyennes annuelles semblent augmenter depuis 100 ans, mais que la recharge ne semble pas présenter de tendances claires. Par contre, les températures semblent toujours augmenter et la recharge diminuer sur la période de 30 ans (1970-1999). Le fait que la recharge reste stable ou qu'elle diminue sur l'ensemble du territoire étudié (trois provinces) dans les dernières années peut être inquiétant pour les réserves en eau souterraine. En conséquence, un suivi de ces mêmes données dans les années à venir serait nécessaire. Les causes de cette « perte » d'infiltration ne sont pas connues. Toutefois, trois causes sont probables : 1) l'augmentation de l'évapotranspiration due à l'augmentation des températures, 2) la diminution de l'efficacité de l'infiltration due aux modifications des diagrammes durée-intensité-fréquence des événements pluvieux, à la fonte plus précoce et plus rapide du couvert nival au printemps et aux changements des pratiques agricoles et forestières qui favorisent tous une augmentation du ruissellement et 3) l'augmentation des prélèvements due à l'accroissement de la densité de population dans certaines régions ou à l'agrandissement d'industries ou de fermes agricoles.

Les MCG semblent en effet indiquer que l'accroissement des températures combiné avec celui de CO<sub>2</sub> pourrait entraîner une forte augmentation du taux d'évapotranspiration. De plus, une étude parallèle sur l'évapotranspiration actuellement en réalisation (régressions linéaires effectuées sur des valeurs calculées à l'aide des méthodes de Thornthwaite, Coutagne and Turc) montre bien une augmentation de ce paramètre au cours du siècle dernier (1900-2000) sur presque tout l'est du Canada. Par ailleurs, les résultats de

plusieurs études (rapportées dans IPCC, 2002) semblent également indiquer des bouleversements dans les schémas durée-intensité-fréquence des précipitations. Tous ces phénomènes ont des conséquences directes sur le cycle hydrologique et pourraient entraîner une diminution de la proportion des précipitations qui atteint la nappe. Ainsi, l'infiltration efficace, affectée par le taux d'humidité du sol qui dépend du type et de la fréquence des précipitations, pourrait diminuer avec l'augmentation de l'intensité des pluies et des périodes de sécheresse et, en plus, une partie de l'eau présente dans la couche superficielle du sol pourrait s'évaporer plus facilement.

Les causes de ce phénomène, qui semble s'accroître depuis les 30 dernières années, ne peuvent pas être déduites à ce stade-ci de l'étude. Le mandat de cette recherche était d'étudier les tendances des différents paramètres et de conclure sur la nécessité de faire un suivi plus attentif des ressources en eaux souterraines disponibles. Notre avis pour l'instant est que le « manque à gagner » entre les courbes de recharge et celles de précipitations (recharge stable ou à la baisse alors que les précipitations augmentent) est probablement attribuable à une combinaison des effets des trois différentes causes, dont l'importance est variable pour chaque site. La quantification de ces effets en divers endroits resterait à déterminer.

### 6.1.2 Valeurs mensuelles

Les valeurs mensuelles ont ensuite été analysées sommairement pour examiner les variations à l'intérieur du cycle annuel et explorer les conditions saisonnières. La même procédure que pour les valeurs annuelles a été employée pour chacun des mois de l'année à chaque station pour les températures moyennes, les précipitations totales et la recharge. Cependant, seule la période complète des données a été utilisée pour l'évaluation des tendances pour l'instant. L'ensemble des graphiques (15 stations, 12 mois) est présenté à l'annexe D.

Pour l'ensemble des mois de l'année, nombreuses sont les stations qui ne présentent aucune tendance pour les précipitations totales mensuelles (en moyenne : 7,5/15, soit 50%). Les mois d'octobre et de novembre ont 10 et 12 stations respectivement sans tendance. Les mois de janvier, mars, avril et mai, juin, juillet et septembre montrent des rapports de stations à la hausse/stations à la baisse élevés (8/0, 7/2, 9/0, 10/0, 6/0, 8/1, 6/2). Seul le mois de février présente un ratio dans le sens inverse (2/6). Les autres stations (août, octobre, novembre et décembre) n'ont pas de tendance globale marquée à la hausse ou à la baisse et la majorité des stations ne présente aucune tendance. Pour les températures moyennes mensuelles, 8 mois de l'année présentent une majorité de stations à la hausse (entre 7 et 12 sur les 15 stations disponibles). Ces mois sont : février, avril, mai, juin, juillet, août, novembre et décembre. Très peu de stations montrent des tendances à la baisse, 9 mois n'en ayant qu'une ou aucune. Les mois de janvier, octobre et novembre en ont respectivement 3, 3 et 4. On observe pour les mois de janvier, mars, septembre et octobre qu'une majorité de stations a des valeurs plutôt stables (aucune ou très faible tendance). Zhang *et al.* (2001) avaient observé que les rivières gelaient plus tôt, particulièrement dans la région Atlantique. Ceci ne se reflète pas dans nos résultats (les températures moyennes du mois de décembre étant à la hausse).

En moyenne pour les 12 mois, 6 stations sur 15 ne présentent aucune tendance pour les recharges mensuelles. Seuls les mois de mars, avril et juillet montrent un beaucoup plus grand nombre de stations à la hausse qu'à la baisse (8 /1, 8/2, 7/1). A l'inverse, on observe pour les mois de mai, juin et septembre un fort ratio de stations à la baisse (1/8, 0/9, 1/7). Les mois de février et octobre présentent un taux particulièrement élevé de tendances visuelles peu ou pas significatives (9 sur 15). Pour les autres mois (janvier, août, novembre et décembre), les tendances à la hausse, à la baisse ou stables sont plus ou moins bien réparties.

Les tendances à la hausse observées en mars et avril et les tendances à la baisse constatées pour les mois de mai et juin pourraient vraisemblablement être attribuables à la fonte des neiges précoce découlant du réchauffement planétaire, en accord avec les conclusions des études pan-canadiennes de Burn et Hag Elnur (2002) et de Zhang *et al.* (2001). En effet, les mois d'avril et mai présentent une majorité de stations dont les températures moyennes mensuelles sont à la hausse. Le mois de mars possède presque autant de stations à la hausse que sans tendance visuelle significative (aucune station à la baisse), mais notons que des événements isolés durant le mois (exemple : réchauffement sur un ou quelques jours qui favorise la fonte rapide de la neige) pourraient ne pas apparaître dans la valeur moyenne, mais avoir un impact non négligeable sur la recharge. Une étude détaillée des températures maximales et des précipitations tombées sous forme de pluie permettra éventuellement de vérifier cette hypothèse. Des tests préliminaires sur les précipitations mensuelles tombées sous forme de pluie ont toutefois permis de constater que celles-ci n'ont pas augmenté. Par ailleurs, tel que Zhang *et al.* (2001) le soulignent pour la région Atlantique, l'augmentation de la recharge printanière (ou des débits de rivières mensuels) pourrait également être attribuable à l'augmentation des précipitations totales durant cette période. Le phénomène est probablement dû à une combinaison des deux effets. L'étude statistique des paramètres devrait permettre une meilleure compréhension.

## **6.2 Développement d'indices précurseurs de bas niveaux d'eau dans les puits**

Un des objectifs de cette étude est d'examiner les facteurs influençant le plus l'élévation de la nappe, de manière à pouvoir développer des indices précurseurs visant à identifier les périodes potentielles de bas niveaux, principalement dans les régions où l'approvisionnement en eau potable repose majoritairement sur l'exploitation de puits. Ainsi, les gestionnaires de la ressource en eau souterraine pourraient planifier des mesures préventives dès le début de la période estivale, avant la période critique des mois de juillet et août (pour les récoltes ou le tourisme), en fonction des priorités de la région.

Dans un premier temps, des graphiques de précipitations annuelles en fonction de la recharge annuelle ont été tracés pour essayer de voir si une forte relation linéaire existait entre ces deux paramètres, de manière à pouvoir estimer la hauteur de la nappe simplement à partir des précipitations tombées durant l'année. Dans tous les cas, l'hypothèse nulle (impliquant qu'aucune corrélation n'est présente) peut être rejetée, impliquant une relation indéniable entre les deux paramètres (voir tableau E-1 à l'annexe

E). Toutefois, les relations linéaires ne se sont avérées très fortes (coefficient de détermination  $R^2 \geq 0,7$ ) que dans un seul cas, soit à Moncton (N.-B.). Des 15 sites étudiés, 8 (53%) ont cependant des coefficient  $R^2$  supérieurs à 0,5, indiquant une relation directe, mais sans être exclusive, entre les deux paramètres. Ces 8 stations sont surtout concentrées dans les Maritimes (N.-B. et Î.-P.-É.). En effet, 7 des 9 (78%) stations situées dans ces deux provinces présentent des  $R^2 > 0,5$ . Le tableau E-1, en annexe E présente l'ensemble des résultats. L'ensemble des graphiques de précipitations versus recharge est aussi présenté dans cette annexe. Des tests ont montré qu'aucun mois en particulier ne semblait être critique. Les relations mensuelles étaient d'ailleurs dans tous les cas plus faibles que celle annuelle. Les températures annuelles ne sont que faiblement reliées à la recharge (relations quantitatives), même si leur rôle dans le processus global est important.

Pour tenter de développer des indices permettant d'estimer les hauteurs de la nappe à la fin de l'été (juillet-août) à partir des différentes données disponibles (précipitations, de neige, totale, couvert nival, température, etc.) jusqu'en mai, nous avons d'abord essayé de corrélérer les hauteurs moyennes de la nappe en mai et juin à celles de août et septembre. Nous nous sommes aperçus que, même en prenant les meilleures stations piézométriques (à l'Île-du-Prince-Édouard les valeurs sont généralement quotidiennes sur 30 ans), les hauteurs moyennes de la nappe en mai et juin n'étaient pas nécessairement corrélées à celles de août et septembre. En effet, une année sur deux ou sur trois, le fait que la nappe phréatique soit basse à la fin du printemps ne garantit pas que la nappe sera particulièrement basse à la fin de l'été et vice-versa. Des prévisions sur les hauteurs de nappes peuvent donc difficilement être réalisées. D'après les données, il ne serait en conséquence pas pertinent de sonner l'alarme à chaque fois que les hauteurs piézométriques sont faibles à la fin du printemps ou de ne rien prévoir du tout lorsque la nappe est particulièrement haute au printemps.

Des tests effectués sur les courbes de récession estivale de différents puits (correspondant à la diminution de la hauteur de la nappe entre les mois d'avril et septembre) ont montré que, selon les années, la différence de niveau entre les mois d'avril et de septembre ne pouvait pas être expliquée par une seule variable dominante, mais que la combinaison des paramètres température-précipitation devait être prise en compte. Des précipitations abondantes couplées à une température moyenne fraîche durant les mois de juin à août peuvent faire toute la différence sur une nappe plus basse qu'à l'habitude au début juin, alors qu'à l'inverse, un été très sec et passablement chaud entraînera une forte diminution du niveau de la nappe alors particulièrement haute au mois de mai. Un bon exemple est celui de 2001, où la nappe était haute en mai dans de nombreux puits et franchement basse en août-septembre. Pour la recharge printanière, seules les valeurs moyennes mensuelles ne peuvent réussir à prédire les remontées. Quelques événements pluvieux bien distribués durant l'hiver versus une fonte ultra rapide au printemps aura des conséquences significatives sur la recharge des nappes. Dans certains cas (par exemple O'Leary, Î.-P.-É.), la remontée de la nappe au printemps peut être assez bien prévue par la quantité de neige tombée durant les mois de janvier à mars. Toutefois, cette valeur ne permet pas de prédire efficacement la hauteur de la nappe à la fin de l'été.

Nous préconisons donc un suivi régulier des nappes à l'aide, entre autres, d'un réseau de puits de surveillance (il en existe déjà dans plusieurs régions) et d'établir à l'avance des scénarios limitant certaines activités en fonction des valeurs atteintes sur une base hebdomadaire de façon à pouvoir s'adapter rapidement (à l'intérieur de quelques semaines, voire jours).

## 7 SOMMAIRE ET CONCLUSION

La variabilité des paramètres hydrologiques est un sujet d'une importance majeure pour la gestion des ressources en eau. En effet, dans plusieurs régions, la variabilité projetée des événements hydrologiques résulterait en des impacts plus importants sur les ressources en eau que sur les changements des conditions climatiques moyennes (IPCC, 1996). Toutefois, les prévisions entourant la variabilité des événements hydrologiques demeurent très incertaines et sujettes à débats. Les changements de débits de rivières observés sont généralement en accord avec les résultats des scénarios des MCG qui suggèrent des températures plus douces et une augmentation de l'évapotranspiration suite à un accroissement du CO<sub>2</sub>. Toutefois, certaines tendances de débits de rivières pourraient être dues à un changement dans la gestion de la ressource, à des utilisations différentes du territoire ou des changements de pratiques agricoles et forestières qui pourraient augmenter les besoins en eau ou diminuer la capacité d'infiltration (IPCC, 2002).

Le but de cette étude était d'évaluer les influences directes et indirectes des changements climatiques sur les nappes phréatiques en identifiant les tendances majeures des séries historiques de précipitations totales, de températures moyennes et de la recharge à l'échelle régionale dans la partie est du Canada. Pour ce faire, les données piézométriques, hydrologiques et météorologiques de trois provinces (Québec, Nouveau-Brunswick et l'Île-du-Prince-Édouard) ont été étudiées de façon à évaluer leur liens, c'est-à-dire la relation entre le climat et les niveaux d'eau dans les aquifères et détecter les tendances annuelles et mensuelles. Ce projet a ainsi permis de compiler quelques millions de données, de les structurer et de les intégrer dans une base de données, à laquelle un module d'extraction a été ajouté pour faciliter leur accès et leur gestion.

Deux types de données ont été employés au départ pour évaluer la recharge des nappes : les données piézométriques (niveaux d'eau dans les puits) et les données de jaugeage (débits de rivières). Une fois le lien entre les fluctuations piézométriques et les débits de base établi, la recharge a été exclusivement estimée à partir des débits de base, les séries hydrologiques étant généralement nettement plus longues et beaucoup plus complètes. La méthode préconisée pour la séparation d'hydrogrammes a été le filtre de Chapman, cette méthode étant rapide et conviviale en plus de fournir des résultats semblables et même supérieurs aux deux autres méthodes testées (filtre de Furey et Gupta et méthode graphique de Hysep). Les tendances annuelles ont d'abord été calculées à l'aide de régressions linéaires, puis avec le test statistique non paramétrique de Mann-Kendall utilisé conjointement avec le traitement préalable des données suggéré par Yue *et al.* (2002). Les tendances sur les données mensuelles ont simplement été détectées avec les régressions linéaires. Un rapport subséquent devrait inclure les résultats de leur traitement statistique.

Notre analyse statistique a montré que les précipitations annuelles ainsi que les températures moyennes annuelles tendent à augmenter légèrement depuis le début du siècle, ce qui est tout à fait en accord avec plusieurs études empiriques et scénarios

réalisés à l'aide de modèles de circulation générale. Cependant, les courbes de recharge semblent être plutôt stables ou même à la baisse depuis les dernières décennies, ce qui serait encore une fois en accord avec les scénarios des MCG. Toutefois, seulement 15 sites répartis sur les trois provinces ont pu servir pour cette étude, étant donné la sévérité de nos critères de sélection. En effet, la longueur des trois séries pour un site donné devait être de 25 ans ou plus, la rivière ne devait pas être régularisée, la nappe aquifère devait être libre ou semi-confinée et une station météorologique devait se situer à proximité (moins de 50 km). Néanmoins, la constatation que la recharge tend à diminuer depuis près de 30 ans à plusieurs des sites étudiés est importante et met en évidence l'importance d'entamer ou de poursuivre les suivis des niveaux d'eau dans les puits et des débits de rivières non régularisées.

L'étude des tendances mensuelles à l'aide de régressions linéaires sur la période complète de données a permis de montrer que les températures de plusieurs mois (8 sur 12) avaient des tendances à la hausse et très peu à la baisse, tandis que les précipitations totales étaient majoritairement soit à la hausse (au printemps) ou soit sans tendance visuelle significative (de août à décembre). La recharge semble augmenter en mars et avril et diminuer en mai et juin, impliquant peut-être un dégel précoce provenant d'un adoucissement des températures moyennes et d'épisodes de pluie, auquel s'ajouterait une augmentation des précipitations.

Nous avons constaté que les données de hauteurs de la nappe phréatique au printemps et à la fin de l'été n'étaient pas corrélées entre elles et donc, que le développement d'indices permettant de prévoir les périodes de niveau critique de la nappe n'était malheureusement pas possible en se servant de l'information des mois précédents. Nos résultats montrent que le niveau de la nappe d'un mois ou d'une année donné est intimement lié à la quantité de précipitations tombée durant le mois ou l'année, mais que ce paramètre seul ne suffit pas à prédire adéquatement le niveau des nappes. La température joue un rôle important, mais difficile à quantifier puisque la majeure partie de la recharge se fait au printemps, à la fonte des neiges et que quelques événements ponctuels (qui ne ressortent pas dans les valeurs moyennes) ont un impact important sur l'infiltration.

Il est impossible à ce stade de conclure sur la ou les causes de cette diminution apparente de l'infiltration. Celle-ci pourrait découler des changements climatiques (augmentation de l'évapotranspiration due à la hausse des températures provoquée par l'effet de serre et changements dans les schémas intensité-durée-fréquence des événements pluvieux), des modifications des pratiques ancestrales agricoles (choix du type de cultures) et forestières (type de coupe) ou être attribuable à une influence directe telle qu'une augmentation du pompage à proximité. Cependant, nous pouvons sans doute conclure que sous de telles conditions, une gestion plus stricte de la ressource sera probablement requise dans certaines régions à cause de l'augmentation de la population, du développement économique, d'un besoin en eau accru pendant les épisodes de sécheresse et des patrons de précipitations modifiés qui résulteront en des contraintes additionnelles sur la ressource (forte compétition pour l'approvisionnement).

Dans la poursuite de cette étude, il serait important d'obtenir des informations additionnelles concernant l'environnement des stations étudiées. Car si les puits sont influencés par différentes activités, il serait intéressant d'étudier l'augmentation des débits pompés en fonction de la démographie de la région sur les 30 dernières années de manière à pouvoir évaluer la part probable d'augmentation due à l'approvisionnement domestique, agricole et industriel. De nombreux changements anthropiques bouleversent le cycle hydrologique depuis les dernières décennies, comme par exemple l'augmentation de la densité de population en certains endroits et l'intensification des cultures. En effet, le fait que le niveau de la nappe baisse sans que le puits étudié soit en pompage ou à proximité (moins de 1 km) d'un puits en exploitation représente en soit une information et un problème important (la surexploitation) sur lequel il faudrait se pencher. Il serait en conséquence important de connaître les besoins en eau des populations et d'en déterminer les raisons pour pouvoir évaluer de façon plus éclairée l'impact des changements climatiques et assurer la pérennité de la ressource en eau souterraine. Il faudrait également étudier séparément les tendances des températures diurnes et nocturnes pour tester l'hypothèse de l'augmentation de l'évapotranspiration. La quantification des effets ayant possiblement un impact sur l'infiltration (évapotranspiration, modification des ratios infiltration/ruissellement et augmentation des prélèvements) s'avère difficilement réalisable.

Ces travaux ont mis en évidence le fait qu'il est difficile d'étudier le comportement de la recharge pour de nombreuses raisons. Premièrement, les séries piézométriques des nappes étudiées ne devraient idéalement pas subir l'influence de pompage et devraient être à nappe libre. Celles des rivières devraient être exemptes de structures visant la régulation du débit. Deuxièmement, les séries disponibles doivent être longues (25 ans est déjà peu) et les données fréquentes pour pouvoir effectuer des analyses de tendances à long terme statistiquement valables. En effet, les données piézométriques sont généralement mensuelles et, comme le calcul de la recharge ne peut être obtenu que dans les remontées de la nappe, seulement 2 valeurs peuvent être obtenues en moyenne par année. Enfin, les valeurs obtenues à partir de la séparation d'hydrogrammes (débits de base) et des fluctuations piézométriques ne fournissent que des approximations des taux de recharge.

Ce genre d'étude appliquée est ambitieuse et comporte certaines limites. Cependant, des travaux concernant l'impact des changements climatiques sur notre environnement et particulièrement sur les ressources en eau douce doivent être effectués de manière à permettre une gestion durable à long terme de la ressource.

## REMERCIEMENTS

Ce rapport est une contribution conjointe du programme du Fonds d'Actions des Changements Climatiques (FACC) et du projet Initiative sur les Eaux Souterraines dans les Maritimes (IESM/MGWI) de la Commission géologique du Canada. Nous tenons à remercier les ministères de l'Environnement des provinces du Québec (M. Ouellet), du Nouveau-Brunswick (D. Pupek et R. Brinsmead) et de l'Île-du-Prince-Édouard (G. Somers et J. Mutch) ainsi que le Service météorologique du Canada à Montréal (G. Vigeant et K.H. Lam) et M. R. Nadeau de la municipalité de Cap-de-la-Madeleine pour leurs généreuses contributions en données climatiques, hydrologiques et piézométriques. Nos remerciements s'adressent également à H. Vigneault pour son aide dans la présentation des résultats et pour les résultats préliminaires de l'étude sur l'évapotranspiration. Les auteurs aimeraient aussi remercier M. Parent de la CGC-Qc pour la lecture critique du manuscrit et ses commentaires très pertinents. Ce rapport est la contribution n° 1577 de la CGC.

## BIBLIOGRAPHIE

Arnell N.W. 1998. Climate change and water resources in Britain. *Climatic Change*, 39: 83-110.

Arnold, J. G., Allen, P. M., Muttiah, R. et Bernhardt, G. 1995. Automated base flow separation and recession analysis techniques. *Ground Water*, 33(6): 1010-1018.

Benhamanne, S. 2002. *Évaluation des différentes méthodes de séparation d'hydrogrammes pour évaluer les impacts potentiels des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'est du Canada*, rapport de stage INRS - Eau, Terre et Environnement, 39 pages.

Bobba, A.G. Singh, V.P. Jeffries, D.S. et Bengtsson, L. 1997. Application of a watershed runoff model to North-East Pond River, Newfoundland: to study water balance and hydrological characteristics owing to atmospheric change. *Hydrological Processes*, 11: 1573-1593.

Burn, D.H. et Hag Elnur, M.H. 2002. Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology*, 255: 107-122.

Chapman, T. G. 1991. Comment on "Evaluation of automated techniques for base flow and recession analysis" by R. J. Nathan and T. A. McMahon. *Water Resources Research*, 27(7): 1783-1784.

Chapman, T. G. and Maxwell, A. I. 1996. Baseflow separation - comparison of numerical methods with tracer experiments. 23rd *Hydrology and Water Resources Symposium*. 539-545.

Cole, J.A. Oakes, D.B. Slade, S. et Clark, K.J. 1994. Potential impacts of climatic change and of sea-level rise on the yields of aquifer, river and reservoir sources. *J.IWEM*, 8: 591-606.

El-Jabi N. et Rousselle, J. 1990. *Hydrologie fondamentale*, deuxième édition, Éditions de l'École Polytechnique de Montréal.

Frohlich, K., Frohlich, W., et Wittenberg, H. 1994. Determination of groundwater recharge by baseflow separation : regional analysis in northeast China. *IAHS Publication*, 221: 69-75.

Furey, Peter R. et Gupta, Vijay K. 2001. A physically based filter for separating base flow from streamflow time series. *Water Resources Research*, 37(11): 2709-2722.

Gilbert, R. O. 1987. *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*, Van Nostrand Reinhold Company Inc., NY.

Healy, R.W. et Cook, P.G. 2002. Using groundwater levels to estimate recharge. *Hydrogeology Journal*, 10: 91-109.

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). 1996. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, 3 volumes, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs1.htm>.

IPCC. 2002. The Regional Impacts of Climatic Change, Chapter 8: North America, <http://www.grida.no/climate/ipcc/regional/199.htm>

Lyne, V. et Hollick, M. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. I.E. *Aust. Natl. Conf. Publ. 79/10*, Inst. Of Eng. Aust., Canberra, pp. 89-93.

Maathuis, H. et Thorleifson, L.H. 2000. Potential impact of climate change on Prairie groundwater supplies: review of current knowledge. Geological Survey of Canada. *SRC Publication*, No. 11304-2E00: 43p.

McLaren, R.G. et Sudicky, E.A. 1993. The impact of climatic change on groundwater. In: Sanderson, M. (ed.), "*The Impact of Climate Change on Water in the Grand River Basin, Ontario*", Dept. of Geography, University of Waterloo, Publication Series #40. Chapter 3: 53-67.

Meteorological Service of Canada. 2002. *Historical Canadian Climate Database Version 2*, Climate Monitoring and Data Interpretation Division of the Climate Research Branch, Monthly Rehabilitated Precipitation and Homogenized Temperature Data Sets, <http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/hccd/>

Michaud, Y., Rivard, C., Benhammane, S., Marion, J., Lefebvre, R. et Rivera, A. 2002. Évaluation préliminaire de l'impact potentiel des changements climatiques sur les ressources en eau souterraine dans l'Est du Canada, *IAH proceedings*, Niagara Falls, Octobre 2002.

Morin, G. et Slivitzky, M. 1992. Impacts de changements climatiques sur le régime hydrologique : le cas de la rivière Moisie. *Revue des Sciences de l'Eau*, 5: 179-195.

Nathan, R. J. et McMahon, T. A. 1990. Evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses. *Water Resources Research*, 26(7): 1465-1473.

Rohlf, F. J. et Sokal, R. R. 1995. *Statistical Tables*, 3rd ed. W. H. Freeman and Company, New York, NY.

Rosenberg, N.J., Epstein, D.J., Wang, D., Vail, L., Srinivasan, R. et Arnold, J.G. 1999. Possible impacts of global warming on the hydrology of the Ogallala aquifer region. *Climatic Change*, 42: 677-692.

- Roy, L., Leconte, R., Brissette, F.P. et Marche, C. 2001. The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin. *Hydrological Processes*, 15: 3167-3179.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W. et Cook, P.G. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10:18-39.
- Secrétariat du Comité des priorités du ministère du Conseil exécutif. 1997. *Symposium sur la gestion de l'eau*. Gouvernement du Québec. 59 p.
- Sharma, M.L. 1989. Impact of climate change on groundwater recharge. Conference on climate and water, Helsinki, Academy of Finland, 1: 511-520.
- Sloto, R. A. et Crouse, M. Y. 1996. HYSEP: a computer program for streamflow hydrograph separation and analysis. U. S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 96-4040, 46p.
- Todd, D. K. 1980, *Groundwater Hydrogeology*. Second edition, John Wiley and Son Inc., New York.
- Wittenberg, H. 1999. Baseflow recession and recharge as nonlinear storage process. *Hydrological Processes*, 13: 715-726.
- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B. et Cavadias, G. 2002. The influence of correlation on the ability to detect trend in hydrological series, *Hydrological Processes*, 16:1808-1829.
- Yue S. et Wang, C. Y. 2002. Applicability of prewhitening to eliminate the influence of serial correlation on the Mann-Kendall test, *Water Resources Research*, technical note, 38(6): 4-1 à 4-7.
- Zhang, X., Vincent, J.A., Hogg, W.D. et Niitsoo, A. 2000. Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th century, *Atmosphere-Ocean*, 38(3): 395-429.
- Zhang, X., Harvey, K.D., Hogg, W.D. et Yuzyk, T.R. 2001. Trends in Canadian streamflow. *Water Resources Research*, 37(4): 987-998.



# **ANNEXE A**

**Liste des stations piézométriques**

**Liste des stations de jaugeage**

**Liste des stations météorologiques**



Province	Station	No Station	Début des levées	Fin des levées	Latitude	Longitude	Fréquence	Nappe	Aquifère	Influence par pompage
N.-B.	Miramichi-Chatham Kinn St	BO-3	1983-10-25	1989-09-29	47.02	-65.45	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Oui
N.-B.	Miramichi-Chatham RCP	BO-2	1981-07-22	1991-05-28	47.02	-65.47	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	?
N.-B.	Miramichi-Dalton Ave	BO-6	1983-08-25	1992-03-23	46.99	-65.58	Quotidienne	Non déterminé	Granulaire	Oui
N.-B.	Moncton-Petitcodiac D O T	BU-1	1979-04-05	1991-12-12	45.92	-65.19	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Moncton-Tankville	BU-2	1979-04-05	1991-12-06	46.15	64.77	Annuelle	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Pennfield 1	AQ-1	1981-01-01	1987-07-14	45.10	-66.73	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
N.-B.	Pennfield 3	AQ-3	1989-03-20	1992-03-26	45.10	-66.73	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Pennfield 4	AQ-4	1988-09-29	1991-12-31	45.10	-66.73	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
N.-B.	Rogersville	BO-5	1979-04-05	1991-12-12	46.76	-65.44	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Sackville	BT-1	1984-06-26	1992-03-23	45.96	-64.41	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Shediac	CGQ-6	2001-08-21	2001-11-05	46.23	-64.52	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Shediac bridge	BS-1	1979-04-05	1991-12-12	46.26	-64.57	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Shippagan-15e rue	BL-4	Pas de fichier Excel		47.74	-64.72		Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Shippagan-Reservoir	BL-3	1987-05-06	1991-12-31	47.73	-64.73	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	St.Stephen-Maxwell crossing	AR-1	1987-01-01	1992-03-26	45.24	-67.27	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
N.-B.	St-Basile-Filtration centre	AF-2	1985-04-26	1991-12-31	47.36	-68.22	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	St-Basile-Wellfield	AF-1	1985-05-02	1991-12-31	47.35	-68.23	Quotidienne	Semi-confinée	Granulaire	Oui
N.-B.	Sussex	AP-1	1986-09-09	1992-03-23	45.72	-65.55	Quotidienne	Semi-confinée	Granulaire	Oui
N.-B.	Tracadie	BL-2	1982-11-24	1990-12-31	47.51	-64.92	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	?
Que	Bedford	3047021	1980-03-19	1993-06-15	45.12	-73.01	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Bishopton	3027031	1977-11-09	1982-05-14	45.59	-71.58	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Bishopton	3027032	1982-06-18	1993-04-16	45.59	-71.58	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Cap-de-la-Madeleine	101	1972-04-01	2000-11-01	46.38	-72.58	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	103	1972-04-01	2000-12-01	46.38	-72.57	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	106	1972-04-01	2000-12-01	46.39	-72.56	Mensuelle	Libre	Granulaire	?

## Liste des stations piézométriques- Projet FACC

Province	Station	No Station	Début des levées	Fin des levées	Latitude	Longitude	Fréquence	Nappe	Aquifère	Influence par pompage
I.P.E	Bloomfield	91CA001	1967-10-04	2001-10-28	46.77	-64.23	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
I.P.E	Caledonia	91CE001	1968-01-01	2001-08-14	46.07	-62.72	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
I.P.E	Kensington	91CB001	1968-04-01	1992-05-28	46.43	-63.65	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
I.P.E	Mt. Pleasant	91CA002	1968-04-01	1992-06-25	46.58	-64.02	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
I.P.E	New Dominion	91CC004	1972-10-26	2001-10-29	46.18	-63.23	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
I.P.E	St. Charles	91CD001	1968-04-01	1992-05-24	46.40	-62.43	Quotidienne	Semi-confinée	Fracturé	Non
N.-B.	Allardville	BL-1	1982-01-01	1992-03-21	47.46	-65.48	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Blackville D.O.T.	BO-7	1979-05-05	1991-12-12	46.71	-65.84	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Boucrouche	BS-2	1983-06-21	1992-03-22	46.49	-64.74	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Caraquet	BL-8	1982-01-01	1990-12-31	47.78	-64.89	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Charlo	BJ-1	1983-07-21	1991-12-31	47.99	-66.34	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
N.-B.	Doaktown	BN-1	1979-04-05	1991-12-10	46.50	-66.15	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Fredericton-New Maryland	AM-1	1979-04-05	1992-03-03	45.88	-66.69	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Fredericton-Regent st. DOT	AM-2	1979-04-05	1991-12-12	45.93	-66.67	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Fredericton-Royal road	AM-4	1981-01-01	1992-03-24	46.05	-66.71	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Fredericton Wilmot park	AM-3	1984-02-08	1992-03-04	45.96	-66.66	Quotidienne	Non déterminé	Granulaire	Oui
N.-B.	Grand Falls	AF-3	1981-01-27	1992-04-26	47.06	-67.76	Quotidienne	Confinée	Fracturé	Non
N.-B.	Harcourt	BS-3	1979-05-05	1991-12-12	46.49	-65.26	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
N.-B.	Harcourt	CGQ-5	2001-08-20	2001-11-04	46.49	-65.25	Quotidienne	Non déterminé	Granulaire	Non
N.-B.	Harvey Station	AM-5	1979-07-05	1991-12-11	45.72	-67.01	Mensuelle	Non déterminé	Granulaire	Non
N.-B.	Lameque	BL-5	1982-05-01	1990-12-31	47.81	-64.62	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Le Bureau	CGQ-7	2001-08-05	2001-11-05	46.19	-64.39	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
N.-B.	Miramichi-CFB Chatham	BO-1	1978-07-14	1992-03-24	47.01	-65.48	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	?
N.-B.	Miramichi-Chatham Industrial park	BO-4	1981-10-01	1992-03-23	47.04	-65.45	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui

Province	Station	No Station	Début des levées	Fin des levées	Latitude	Longitude	Fréquence	Nappe	Aquifère	Influence par pompage
Que	Cap-de-la-Madeleine	107	1972-04-01	2000-11-01	46.39	-72.56	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	108	1972-04-01	2000-12-01	46.37	-72.56	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	109	1972-04-01	2000-12-01	46.40	-72.55	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	111	1972-04-01	2000-12-01	46.39	-72.53	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	112	1972-04-01	2000-11-01	46.40	-72.52	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	113	1972-04-01	2000-12-01	46.39	-72.51	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	114	1972-03-01	2000-11-01	46.38	-72.51	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	31	1979-12-01	2000-12-01	46.38	-72.53	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	58	1986-07-01	2000-11-01	46.37	-72.52	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	59	1972-01-01	1993-12-01	???	???	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	66	1982-04-01	2000-12-01	46.39	-72.56	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-de-la-Madeleine	98	1972-04-01	2000-12-01	46.40	-72.59	Mensuelle	Libre	Granulaire	?
Que	Cap-aux-meules	13007084	1972-11-03	1992-05-22	47.37	-61.88	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Chateauguay	3167001	1979-06-05	1984-11-28	45.37	-73.77	Bi-mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Clifton-Est	3027051	1967-12-02	1987-10-06	45.30	-71.54	Hebdomadaire	Libre	Granulaire	Non
Que	Durham-sud	3037011	1975-09-22	1993-04-15	45.67	-72.34	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Fatima	13007031	1968-03-31	1994-08-28	47.40	-61.89	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Havre-Aubert	13007001	1968-03-30	1994-08-01	47.22	-61.84	Bi-mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Havre-Aubert (Vigneau)	13007011	1968-03-31	1994-08-27	47.25	-61.97	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Havre-aux-Maisons (Chevatie)	13007042	1968-03-31	1994-03-09	47.41	-61.78	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Oui
Que	Havre-aux-Maisons (Le Pré)	13007041	1968-03-31	1994-08-28	47.41	-61.80	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Knowlton	3037081	1975-10-15	1993-06-15	45.22	-72.47	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Loretteville	5097001	1981-09-11	1994-10-20	46.90	-71.43	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
Que	Loretteville	5097002	1981-09-11	1993-02-25	46.88	-71.39	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Matane	2167001	1979-09-29	1990-12-03	48.81	-67.54	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui

Province	Station	No Station	Début des levées	Fin des levées	Latitude	Longitude	Fréquence	Nappe	Aquifère	Influence par pompage
Que	Mirabel (St-Augustin)	4677021	1974-01-17	1988-05-16	45.64	-74.03	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Mirabel (St-Benoit)	4677031	1974-01-18	1993-04-07	45.56	-74.08	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Mirabel (St-Canut)	4677001	1973-03-28	1988-04-20	45.71	-74.03	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Mirabel (Ste-Scholastique)	4677011	1973-04-26	1993-04-07	45.65	-74.01	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Pointe-Lebel	7007001	1971-09-09	1993-03-15	49.16	-68.25	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Pont-Rouge	CGQ-1	1996-11-22	2002-05-28	46.77	-71.67	Quotidienne	Libre	Granulaire	Non
Que	Rougemont	3047001	1969-09-03	1988-04-11	45.44	-73.09	Mensuelle	Libre	Granulaire	Non
Que	Rougemont	3047011	1969-12-09	1993-06-15	45.43	-73.08	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui
Que	Saint-Arsène	2247031	1975-11-08	1987-09-23	47.88	-69.43	Mensuelle	Libre	Granulaire	Non
Que	Sainte-Christine	CGQ-3	1996-11-22	2001-11-27	46.76	-71.99	Quotidienne	Libre	Granulaire	Non
Que	Saint-Isidore	3097131	1982-06-26	1988-02-26	45.25	-73.70	Quotidienne	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Saint-Isidore	3097141	1982-09-20	1991-08-07	45.27	-73.71	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Saint-Isidore	3097151	1982-09-28	1991-08-01	45.26	-73.72	Mensuelle	Non déterminé	Fracturé	Non
Que	Saint-Léonard	CGQ-4	1996-11-22	2002-05-28	46.85	-71.91	Quotidienne	Libre	Granulaire	Non
Que	Saint-Nicolas	2507001	1979-05-28	1994-05-24	46.70	-71.39	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
Que	Saint-Raymond	CGQ-2	1996-11-22	2001-11-27	46.85	-71.84	Quotidienne	Libre	Granulaire	Non
Que	St-Alphonse-de-Granby	3037031	1975-07-30	1993-06-15	45.33	-72.83	Mensuelle	Libre	Granulaire	Non
Que	St-Jacques	5227001	1980-04-16	1990-03-28	46.02	-73.69	Quotidienne	Libre	Granulaire	Oui
Que	St-Jacques	5227002	1980-04-15	1982-05-20	46.02	-73.69	Hebdomadaire	Libre	Granulaire	Oui
Que	St-Paul-d'Abbotsford	3037041	1975-07-17	1993-06-15	45.45	-72.83	Mensuelle	Libre	Granulaire	Non
Que	Waterloo	3037021	1975-11-18	1993-04-05	45.35	-72.51	Mensuelle	Libre	Granulaire	Oui

LISTE DES STATIONS HYDROGRAPHIQUES (JAUGEAGE)- PROJET FACC

Province	Station	Emplacement	Latitude	Longitude	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Période de levées
NB	01AD004	SAINT JOHN RIVER AT EDMUNDSTON	47.36	-68.33	15500	1968-1979
NB	01AF002	SAINT JOHN RIVER AT GRAND FALLS	47.04	-67.74	21900	1930-1999
NB	01AF003	GREEN RIVER NEAR RIVIERE-VERTE	47.34	-68.14	1150	1962-1993
NB	01AF009	IROQUOIS RIVER AT MOULIN MOURNEAULT	47.46	-68.36	182	1991-1997
NB	01AL002	NASHWAAK RIVER AT DURHAM BRIDGE	46.12	-66.61	1450	1962-1997
NB	01AP004	KENNEBECASIS RIVER AT APOHAQUI	45.70	-65.60	1100	1961-1999
NB	01AQ001	LEPREAU RIVER AT LEPREAU	45.17	-66.47	239	1918-1997
NB	01AQ002	MAGAGUADAVIC RIVER AT ELMCROFT	45.27	-66.81	1420	1943-1997
NB	01AQ008	PISKAHEGAN STREAM NEAR PLEASANT MOUNTAIN	45.42	-66.89	197	1986-1995
NB	01AR005	STCROIX RIVER AT BARING	45.14	-67.32	3550	1975-1997
NB	01AR006	DENNIS STREAM NEAR STSTEPHEN	45.21	-67.26	115	1966-1997
NB	01AR012	CHAMCOOK STREAM AT LITTLE CHAMCOOK LAKE OUTLET	45.16	-67.10	---	1968-1993
NB	01BJ003	JACQUET RIVER NEAR DURHAM CENTRE	47.90	-66.03	510	1964-1997
NB	01BJ004	EEL RIVER NEAR EEL RIVER CROSSING	48.01	-66.44	88.6	1967-1983
NB	01BJ012	EEL RIVER NEAR DUNDEE	47.99	-66.49	43.2	1984-1997
NB	01BK003	NEPISIGUIT RIVER AT NEPISIGUIT FALLS	47.41	-65.80	1840	1921-1997
NB	01BK004	NEPISIGUIT RIVER NEAR PABINEAU FALLS	47.49	-65.68	2090	1957-1974
NB	01BL001	BASS RIVER AT BASS RIVER	47.65	-65.58	175	1965-1991
NB	01BL002	RIVIERE CARAQUET AT BURNSVILLE	47.70	-65.16	173	1969-1997
NB	01BL003	BIG TRACADIE RIVER AT MURCHY BRIDGE CROSSING	47.44	-65.11	383	1970-1997
NB	01BO001	SOUTHWEST MIRAMICHI RIVER AT BLACKVILLE	46.74	-65.83	5050	1961-1997
NB	01BO002	RENOUS RIVER AT MCGRAW BROOK	46.82	-66.11	611	1965-1995
NB	01BO003	BARNABY RIVER BELOW SEMIWAGAN RIVER	46.89	-65.60	484	1973-1995
NB	01BO004	BARTIBOG RIVER BELOW HIGHWAY NO8	47.19	-65.40	316	1978-1993
NB	01BP001	LITTLE SOUTHWEST MIRAMICHI RIVER AT LYTTLETON	46.94	-65.91	1340	1951-1997
NB	01BP002	CATAMARAN BROOK AT REPAP ROAD BRIDGE	46.86	-66.19	28.7	1989-1997
NB	01BQ001	NORTHWEST MIRAMICHI RIVER AT TROUT BROOK	47.09	-65.84	948	1961-1997
NB	01BR001	KOUCHIBOUGUAC RIVER NEAR VAUTOUR	46.74	-65.20	177	1969-1995
NB	01BS001	COAL BRANCH RIVER AT BEERSVILLE	46.44	-65.07	166	1964-1997
NB	01BT001	KINNEAR RIVER NEAR HAUTE-ABOUJAGANE	46.15	-64.38	32.1	1985-1993
NB	01BU002	PETITCODIAC RIVER NEAR PETITCODIAC	45.94	-65.17	391	1961-1997
NB	01BU003	TURTLE CREEK AT TURTLE CREEK	45.96	-64.88	129	1962-1997
NB	01BU004	PALMERS CREEK NEAR DORCHESTER	45.89	-64.52	34.2	1966-1985
NB	01BU005	HAYWARD BROOK SITE NO1 NEAR PETITCODIAC	45.86	-65.16	4.3	1995-1997
NB	01BU006	HAYWARD BROOK SITE NO4 NEAR PETITCODIAC	45.88	-65.18	1.37	1995-1997

Province	Station	Emplacement	Latitude	Longitude	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Période de levées
NB	01BU007	HAYWARD BROOK SITE NO5 NEAR PETITCODIAC	45.87	-65.18	6.49	1995-1997
NB	01BU008	HAYWARD BROOK SITE NO6 NEAR PETITCODIAC	45.87	-65.19	2.34	1995-1997
NB	01BU009	HOLMES BROOK SITE NO9 NEAR PETITCODIAC	45.89	-65.15	15.2	1995-1997
IPE	01CA003	CARRUTHERS BROOK NEAR ST. ANTHONY	46.74	-64.19	46.8	1961-1997
IPE	01CA004	SMELT CREEK NEAR ELLERSLIE	46.60	-63.94	17.3	1967-1979
IPE	01CB002	DUNK RIVER AT WALL ROAD	46.34	-63.63	114	1961-1997
IPE	01CB003	PLAT RIVER AT SHERBROOKE	46.42	-63.78	4.51	1970-1982
IPE	01CB004	WILMOT RIVER NEAR WILMOT VALLEY	46.39	-63.66	45.4	1972-1997
IPE	01CB005	NORTH BROOK NEAR WALL ROAD	46.35	-63.63	12.9	1971-1987
IPE	01CB006	EMERALD BROOK NEAR EMERALD	46.36	-63.56	5.59	1974-1992
IPE	01CC005	WEST RIVER AT RIVERDALE	46.23	-63.35	70.1	1988-1997
IPE	01CC006	CLYDE RIVER NEAR CLYDE RIVER	46.24	-63.26	26.8	1986-1994
IPE	01CD002	MORELL RIVER AT PEAKES ROAD	46.32	-62.70	129	1961-1995
IPE	01CD003	MORELL RIVER AT BANGOR	46.36	-62.70	147	1964-1992
QC	02NG001	SAINT-MAURICE (RIVIERE) A LA CENTRALE DE GRANDE-MERE	46.62	-72.68	42000	1919-1994
QC	02NG005	SAINT-MAURICE (RIVIERE) A LA CENTRALE DE LA GABELLE	46.45	-72.74	42700	1924-1994
QC	02OA001	CHATEAUGUAY (RIVIERE) EN AVAL DE LA ROUTE NO205	45.29	-73.80	2460	1920-1971
QC	02OA025	BELLE RIVIERE (RIVIERE) A SAINTE-SCHOLASTIQUE	45.65	-74.09	28	1972-1988
QC	02OA028	CHENE (RIVIERE DU) AU SUD DU VILLAGE DE BELLE-RIVIERE	45.61	-74.10	53.6	1972-1985
QC	02OA030	MASCOUCHE (RIVIERE) PRES DE SAINT-JANVIER	45.69	-73.94	18.9	1972-1990
QC	02OA032	CHIENS (RIVIERE AUX) PRES DE BOISBRIAND	45.64	-73.91	---	1987-1990
QC	02OA054	CHATEAUGUAY (RIVIERE) EN AMONT DE LA ROUTE NO132	45.33	-73.76	2490	1970-1997
QC	02OA057	ANGLAIS (RIVIERE DES) A RIVERFIELD	45.18	-73.84	643	1973-1997
QC	02OA059	ANGLAIS (RIVIERE DES) A HOWICK	45.18	-73.85	712	1967-1973
QC	02OB003	QUAREAU (RIVIERE) A RAWDON	46.04	-73.72	1260	1924-1965
QC	02OB016	OUAREAU (RIVIERE) A LA CENTRALE DE RAWDON	46.04	-73.73	1260	1968-1994
QC	02OB017	OUAREAU (RIVIERE) AUX CHUTES DARWIN	46.03	-73.71	1270	1966-1997
QC	02OE007	SAINT-FRANCOIS (RIVIERE) A LA CENTRALE DE WESTBURY	45.50	-71.62	3330	1929-1987
QC	02OE032	SAUMON (RIVIERE AU) EN AMONT DU RUISSEAU MOFFAT	45.58	-71.39	738	1974-1996
QC	02OE033	EATON (RIVIERE) A SAWYERVILLE	45.34	-71.57	197	1967-1982
QC	02OE034	EATON (RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE CLIFTON	45.33	-71.53	86	1965-1978
QC	02OE062	SAINT-FRANCOIS (RIVIERE) EN AVAL DE LA CENTRALE WEEDON	45.66	-71.47	2930	1979-1997
QC	02OF001	SAINT-FRANCOIS (RIVIERE) A RICHMOND-1	45.66	-72.14	9170	1915-1965
QC	02OF002	SAINT-FRANCOIS (RIVIERE) A LA CENTRALE DE HEMMING-FALLS	45.86	-72.45	9610	1925-1994
QC	02OG002	YAMASKA (RIVIERE) A FARNHAM	45.28	-72.97	1230	1931-1997
QC	02OG006	YAMASKA NORD (RIVIERE) A SAINT-ALPHONSE	45.32	-72.81	282	1976-1983
QC	02OG011	YAMASKA NORD (RIVIERE) PRES DE WARDEN	45.38	-72.50	67.1	1978-1996

Province	Station	Emplacement	Latitude	Longitude	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Période de levées
QC	02OG019	NOIRE (RIVIERE) PRES DE LA RIVIERE YAMASKA	45.50	-72.91	1490	1965-1997
QC	02OG039	YAMASKA SUD-EST (RIVIERE) PRES DE SON EMBOUCHURE	45.27	-72.92	436	1981-1990
QC	02OG042	YAMASKA NORD (RIVIERE) EN AMONT DE L'AUTOROUTE 10	45.36	-72.78	271	1983-1996
QC	02OG045	YAMASKA NORD (RIVIERE) EN AVAL DU BARRAGE DU LAC WATERLOO	45.35	-72.52	30.5	1984-1997
QC	02OH008	BROCHETS (RIVIERE AUX) EN AVAL	45.12	-72.99	387	1981-1997
QC	02OJ023	HURONS (RIVIERE DES) EN AVAL DU RUISSEAU SAINT-LOUIS-1	45.49	-73.19	290	1972-1973
QC	02OJ024	HURONS (RIVIERE DES) EN AVAL DU RUISSEAU SAINT-LOUIS-2	45.49	-73.19	309	1973-1997
QC	02PA003	BATISCAN (RIVIERE) A LA CENTRALE DE SAINT-NARCISSE	46.55	-72.41	4580	1931-1994
QC	02PB002	SAINTE-ANNE (RIVIERE) A LA CENTRALE DE SAINT-ALBAN	46.71	-72.08	1800	1927-1994
QC	02PB019	SAINTE-ANNE (RIVIERE) A CHUTE-PANET-1	46.85	-71.88	1550	1965-1997
QC	02PB033	NOIRE (RIVIERE) PRES DU LAC LONG	46.81	-72.10	282	1967-1972
QC	02PC002	JACQUES-CARTIER (RIVIERE) PRES DE SAINT-GABRIEL	46.89	-71.53	2010	1924-1997
QC	02PC009	PORTNEUF (RIVIERE) PRES DE PORTNEUF	46.71	-71.87	355	1967-1997
QC	02PC010	PINS (RIVIERE AUX) PRES DE LA RIVIERE JACQUES-CARTIER	46.87	-71.64	213	1976-1996
QC	02PC011	PINS (RIVIERE AUX) AU RESERVOIR SAINT-JOSEPH	46.87	-71.64	213	1969-1971
QC	02PC012	PINS (RIVIERE AUX) PRES DE LA RIVIERE JACQUES-CARTIER	46.86	-71.62	221	1967-1976
QC	02PC016	POMMES (RIVIERE AUX)	46.71	-71.67	72.3	1979-1988
QC	02PD008	SAINTE-CHARLES (RIVIERE) AU BARRAGE DE CHATEAU D'EAU	46.86	-71.37	339	1957-1969
QC	02PG001	LOUP (RIVIERE DU) A LA ROUTE NO232	47.82	-69.52	1050	1961-1997
QC	02PJ002	CHAUDIERE (RIVIERE) EN AVAL DU RUISSEAU DROLET	45.69	-70.79	1170	1921-1983
QC	02PJ005	CHAUDIERE (RIVIERE) A SAINT-LAMBERT-DE-LEVIS	46.59	-71.22	5820	1940-1996
QC	02PJ007	BEAURIVAGE (RIVIERE) A SAINTE-ETIENNE	46.66	-71.29	709	1925-1997
QC	02PJ012	CHAUDIERE (RIVIERE) EN AVAL DU BARRAGE A MEGANTIC	45.57	-70.88	775	1976-1996
QC	02PJ014	CHAUDIERE (RIVIERE) EN AVAL DU BARRAGE SARTIGAN	46.10	-70.66	3070	1979-1997
QC	02PJ018	CHAUDIERE (RIVIERE) A BEAUCEVILLE	46.20	-70.74	4090	1965-1981
QC	02QB001	MATANE (RIVIERE) PRES DE MATANE	48.77	-67.54	1650	1926-1996
QC	02QB003	BLANCHE (RIVIERE)-2	48.77	-67.67	208	1940-1966
QC	02QB005	BLANCHE (RIVIERE)-1	48.77	-67.67	208	1967-1996
QC	02TC001	MANICOUAGAN (RIVIERE) A LA CENTRALE MCCORMICK	49.20	-68.34	45800	1946-1980
QC	02TC003	MANICOUAGAN (RIVIERE) A LA CENTRALE NO.2	49.33	-68.35	45600	1965-1994
QC	02TE001	OUTARDES (RIVIERE AUX) A LA CENTRALE DE CHUTE-AUX-OUTARDES	49.16	-68.40	18900	1931-1978
NB	01AD002	SAINTE-ANNE RIVER AT FORT KENT	47.257	-68.593	14700	1926-1999
NB	01AD003	ST. FRANCIS RIVER AT OUTLET OF GLASIER LAKE	47.207	-68.957	1350	1951-1999
NB	01AG002	LIMESTONE STREAM AT FOUR FALLS	46.828	-67.743	199	1967-1993
NB	01AH001	TOBIQUE RIVER AT ARTHURETTE	46.797	-67.481	4140	1918-1933
NB	01AH002	TOBIQUE RIVER AT RILEY BROOK	47.173	-67.210	2230	1954-1999
NB	01AH003	TOBIQUE RIVER AT PLASTER ROCK	46.905	-67.395	3130	1954-1993

Province	Station	Emplacement	Latitude	Longitude	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Période de levées
NB	01AJ003	MEDUXNEKEAG RIVER NEAR BELLEVILLE	46.216	-67.728	1210	1967-1999
NB	01AJ004	BIG PRESQUE ISLE STREAM AT TRACEY MILLS	46.438	-67.745	484	1967-1999
NB	01AK001	SHOGOMOC STREAM NEAR TRANS CANADA HIGHWAY	45.945	-67.322	234	1918-1999
NB	01AK002	SAINT JOHN RIVER AT POKIOK	45.967	-67.242	38900	1918-1967
NB	01AK004	SAINT JOHN RIVER BELOW MACTAQUAC	45.962	-66.831	39900	1966-1995
NB	01AK005	MIDDLE BRANCH NASHWAAKSIS STREAM NEAR ROYAL ROAD	46.035	-66.701	26.9	1965-1993
NB	01AK006	MIDDLE BRANCH NASHWAAKSIS STREAM AT SANDWITH'S FARM	46.083	-66.734	5.7	1966-1999
NB	01AK007	NACKAWIC STREAM NEAR TEMPERANCE VALE	46.049	-67.240	240	1967-1999
NB	01AM001	NORTH BRANCH OROMOCTO RIVER AT TRACY	45.674	-66.683	557	1962-1999
NB	01AP002	CANAAN RIVER AT EAST CANAAN	46.072	-65.367	668	1925-1999
NB	01AQ001	LEPREAU RIVER AT LEPREAU	45.170	-66.467	239	1916-1999
NB	01AR003	ST. CROIX RIVER NEAR BAILEYVILLE	45.265	-67.477	3420	1919-1983
NB	01AR004	ST. CROIX RIVER AT VANCEBORO	45.569	-67.430	1080	1928-1999
NB	01AR011	FOREST CITY STREAM BELOW FOREST CITY DAM	45.664	-67.734	357	1975-1999
NB	01BC001	RESTIGOUCHE RIVER BELOW KEDGWICK RIVER	47.667	-67.484	3160	1962-1999
NB	01BE001	UPSALQUITCH RIVER AT UPSALQUITCH	47.832	-66.882	2270	1918-1999
NB	01BJ001	TETAGOUCHE RIVER NEAR WEST BATHURST	47.656	-65.694	363	1922-1995
NB	01BJ007	RESTIGOUCHE RIVER ABOVE RAFTING GROUND BROOK	47.908	-66.948	7740	1968-1999
NB	01BK001	NEPISIGUIT RIVER AT BATHURST MINES	47.389	-65.827	1810	1918-1921
NB	01BO001	SOUTHWEST MIRAMICHI RIVER AT BLACKVILLE	46.736	-65.827	5050	1918-1999
NB	01BP001	LITTLE SOUTHWEST MIRAMICHI RIVER AT LYTTLETON	46.936	-65.907	1340	1951-1999
NB	01BV004	BLACK RIVER AT GARNET SETTLEMENT	45.307	-65.849	40.4	1960-1999
NB	01BV006	POINT WOLFE RIVER AT FUNDY NATIONAL PARK	45.559	-65.017	130	1964-1999
IPE	01CC002	WINTER RIVER NEAR SUFFOLK	46.332	-63.065	37.5	1967-1999
IPE	01CC003	WINTER RIVER AT BRACKLEY WELLS PUMPING STATION	46.315	-63.147	4.92	1968-1990
IPE	01CE003	BRUDENELL RIVER NEAR BRUDENELL	46.201	-62.649	36	1965-1979
IPE	01CE004	BRUDENELL RIVER AT BRUDENELL	46.202	-62.656	33.1	1979-1995
Qc	02LD001	PETITE NATION (RIVIERE DE LA) A PORTAGE-DE-LA-NATION	45.671	-75.036	1990	1925-1972
Qc	02LD002	PETITE NATION (RIVIERE DE LA) PRES DE COTE-SAINT-PIERRE	45.828	-75.072	1300	1925-1968
Qc	02LD004	PETITE NATION (RIVIERE DE LA) A PORTAGE-DE-LA-NATION	45.671	-75.021	1990	1921-1925
Qc	02LD005	PETITE NATION (RIVIERE DE LA) PRES DE RIPON	45.792	-75.091	1330	1968-1997
Qc	02NE007	CROCHE (RIVIERE) A LA CROCHE	47.584	-72.743	1850	1937-1965
Qc	02NE011	CROCHE (RIVIERE) EN AVAL DU RUISSEAU CHANGY	47.767	-72.737	1570	1965-1996
Qc	02OB032	NOIRE (RIVIERE) A SAINTE EMELIE DE L'ENERGIE	46.339	-73.652	190	1975-1996
Qc	02OD003	NICOLET (RIVIERE) EN AVAL DE LA RIVIERE BULSTRODE	46.056	-72.306	1540	1966-1996
Qc	02OE026	EATON (RIVIERE. PRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS-1	45.468	-71.655	642	1932-1945
Qc	02OE027	EATON (RIVIERE) PRES DE LA RIVIERE SAINT-FRANCOIS-3	45.467	-71.655	642	1953-1997

Province	Station	Emplacement	Latitude	Longitude	Superficie du bassin versant (km <sup>2</sup> )	Période de levées
Qc	02OG007	YAMASKA NORD (RIVIERE) A VAL-SHEFFORD	45.416	-72.622	153	1968-1997
Qc	02OJ003	RICHELIEU (RIVIERE) PRES DE SAINT-OURS	45.864	-73.146	22700	1917-1936
Qc	02OJ007	RICHELIEU (RIVIERE) AUX RAPIDES FRYERS	45.398	-73.259	22000	1937-1999
Qc	02PA007	BATISCAN (RIVIERE) EN AVAL DE LA RIVIERE DES ENVIES	46.584	-72.405	4480	1968-1997
Qc	02PB004	SAINTE-ANNE (RIVIERE) (BRAS DU NORD DE LA)	46.916	-71.859	764	1950-1965
Qc	02PB006	SAINTE-ANNE (RIVIERE) (BRAS DU NORD DE LA) EN AMONT	46.972	-71.854	642	1965-1997
Qc	02PD002	MONTMORENCY (RIVIERE) EN AVAL DU BARRAGE DES MARCHES ...	46.894	-71.151	1100	1924-1996
Qc	02QA002	RIMOUSKI (RIVIERE)-1	48.413	-68.556	1610	1962-1997
Qc	02QA017	NEIGETTE (RIVIERE)	48.518	-68.162	492	1974-1996
Qc	02RD002	MISTASSIBI (RIVIERE)	48.899	-72.212	9320	1953-1997
Qc	02RG005	METABETCHOUANE (RIVIERE) EN AMONT DE LA CENTRALE S.R.P.C.	48.375	-71.994	2280	1964-1996
Qc	02RH014	SABLES (RIVIERE AUX) AU RESERVOIR KENOGAMI	48.360	-71.277	3390	1917-1972
Qc	02RH027	PIKAUBA (RIVIERE) EN AMONT DE LA RIVIERE APICA	47.941	-71.382	495	1969-1996
Qc	02RH029	SABLES (RIVIERE AUX) AU BARRAGE PIBRAC	48.371	-71.284	3390	1972-1985
Qc	02RH034	ECORES (RIVIERE AUX)-2	48.182	-71.645	1110	1967-1971
Qc	02RH035	ECORES (RIVIERE AUX)	48.182	-71.645	1110	1971-1996
Qc	02RH048	HA HA (RIVIERE)	48.275	-70.868	572	1977-1995
Qc	02RH061	SABLES (RIVIERE AUX) EN AVAL DE PIBRAC	48.371	-71.285	3390	1985-1996
Qc	02SC002	PORTNEUF (RIVIERE) EN AMONT DES CHUTES PHILIAS	48.662	-69.167	2010	1973-1994
Qc	02UA003	GODBOUT (RIVIERE)	49.331	-67.656	1570	1974-1996
Qc	02UC002	MOISIE (RIVIERE)	50.350	-66.190	19000	1965-1996
Qc	02VA001	TONNERRE (RIVIERE AU)	50.283	-64.783	684	1947-1986
Qc	02VA003	TONNERRE (RIVIERE AU) EN AMONT DU PONT-ROUTE 138	50.308	-64.747	676	1984-1993

## LISTE DES STATIONS METEOROLOGIQUES- PROJET FACC

### 1) SERIES QUOTIDIENNES

Province	Station	Localité	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Début levée	Fin levée
QUE	7012071	Donnacona 2	46.68	-71.73	46	1952	1999
QUE	7012240	Duchesnay	46.87	-71.65	166	1963	1997
QUE	7013360	Joliette	46.03	-73.43	59	1913	1972
QUE	7013362	Joliette ville	46.02	-73.43	56	1967	1999
QUE	7016900	St-Augustin	46.73	-71.50	58	1964	1989
QUE	7016932	Ste-Catherine	46.85	-71.62	152	1964	1997
QUE	7017380	Saint-Jacques	45.95	-73.58	69	1957	1999
QUE	7017386	St Janvier	45.73	-73.88	61	1973	1999
QUE	7018563	Trois-Rivières A	46.35	-72.68	60	1999	2002
QUE	7018564	Trois-Rivières	46.37	-72.60	53	1934	1986
QUE	701HE63	Trois-Rivières Aqueduc	46.38	-72.62	55	1974	1999
QUE	7020567	Beauséjour	46.67	-71.17	107	1975	1999
QUE	7020800	Bishopton	45.58	-71.57	213	1948	1996
QUE	7020840	Brome	45.18	-72.57	206	1875	1999
QUE	70222DR	Durham sud	45.63	-72.35	191	1981	1994
QUE	7022320	Farnham	45.30	-72.90	68	1917	1997
QUE	7022553	Frampton	46.43	-70.83	427	1965	1985
QUE	7022800	Granby	45.38	-72.72	175	1948	1999
QUE	7023240	Huntington	45.05	-74.17	49	1873	2002
QUE	7024878	Mercier	45.32	-73.78	31	1973	1985
QUE	7025745	Ormstown	45.12	-74.05	46	1962	1999
QUE	7027360	St Hyacinthe	45.63	-72.95	31	1890	1979
QUE	7027361	St Hyacinthe 2	45.57	-72.92	33	1977	1997
QUE	7027802	Sawyerville N.	45.37	-71.53	346	1961	1999
QUE	7027840	Scott	46.50	-71.08	145	1950	1999
QUE	7028124	Sherbrooke A	45.43	-71.68	241	1962	2001
QUE	7028211	South Durham	45.63	-72.35	191	1968	1981
QUE	7035290	Mirabel A	45.67	-74.03	82	1975	2002
QUE	7040440	Baie Comeau A	49.13	-68.20	22	1947	2001
QUE	7056890	St Arsène	47.95	-69.38	76	1963	1999
QUE	7057692	St René de Matane	48.68	-67.38	61	1973	1997
QUE	705C2G9	Îles de la Madeleine A	47.42	-61.78	10	1983	2001
QUE	7060400	Bagotville A	48.33	-71.00	159	1942	2000
QUE	7103282	Inukjuak	58.47	-78.08	26	1921	2001

Province	Station	Localité	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Début levée	Fin levée
QUE	7103283	Inukjuak A	58.47	-78.08	25	1994	2002
QUE	7103536	Kuujuuarapik	55.28	-77.75	10	1925	2001
QUE	7117825	Schefferville	54.80	-66.82	522	1948	1993
ONT	6105976	Ottawa CDA	45.38	-75.72	79	1895	1999
NB	8100105	Acadieville	46.73	-65.28	61	1980	1995
NB	8100467	Bas Caraquet	47.80	-64.83	5	1993	2001
NB	8100468	Bas Caraquet	47.80	-64.87	11	1982	1992
NB	8100590	Bouctouche	46.52	-64.72	11	1965	1999
NB	8100880	Charlo A	47.98	-66.33	40	1966	2001
NB	8101000	Miramichi A	47.02	-65.47	33	1943	2001
NB	8101200	Doaktown	46.55	-66.15	38	1934	2001
NB	8101500	Fredericton A	45.87	-66.53	20	1951	2001
NB	8101900	Grand Falls	47.05	-67.73	152	1913	1966
NB	8101904	Grand Falls Drummond	47.03	-67.70	229	1966	1992
NB	8102151	Harcourt	46.50	-65.27	40	1981	2001
NB	8102201	Harvey Station	45.67	-67.03	183	1976	1996
NB	8102210	Havelock	46.03	-65.35	91	1979	1993
NB	8102212	Havelock	46.00	-65.32	99	1994	2001
NB	8103100	Moncton	46.10	-64.78	12	1881	2001
NB	8103500	Nepiseguit Falls	47.40	-65.78	106	1922	2001
NB	8103828	Parkindale	45.87	-65.07	153	1983	2001
NB	8103845	Pennfield	45.10	-66.73	23	1961	2001
NB	8103900	Petitcodiac	45.93	-65.17	29	1934	1954
NB	8104458	Robichaud	46.22	-64.38	8	1982	1993
NB	8104500	Sackville	45.90	-64.38	24	1934	1980
NB	8104501	Sackville	45.85	-64.38	46	1980	2001
NB	8104937	St Stephen (AUT)	45.22	-67.25	26	1992	2002
NB	8104944	Shediac	46.23	-64.53	---	1933	1940
NB	8105200	Sussex	45.72	-65.53	21	1897	2001
NB	8105505	Tracadie	47.52	-64.92	15	1970	1988
NB	810AL00	Edmonston	47.33	-68.18	152	1983	2001
PEI	8300080	Alberton	46.85	-64.02	3	1969	2001
PEI	8300128	Bangor	46.35	-62.68	37	1971	2001
PEI	8300150	Borden	46.25	-63.70	8	1958	1967
PEI	8300447	Monticello	46.47	-62.47	32	1959	2001
PEI	8300525	O'Leary	46.70	-64.27	38	1957	2001
PEI	8300800	Tignish	46.95	-64.07	23	1971	1993
PEI	8300900	Wellington	46.47	-64.05	50	1957	1993

## 2) SERIES MENSUELLES (DE LA BASES HCCD)

Province	Station	Localité	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Début levée	Fin levée
QUE	7028124	Sherbrooke A	45.43	-71.68	241	1904	1999
QUE	7060400	Bagotville A	48.33	-71.00	159	1895	1999
ONT	6105976	Ottawa CDA	45.38	-75.72	79	1895	1999
QUE	7055120	Mont-Joli	48.60	-68.22	52	1895	1999
QUE	7056480	Rimouski	48.45	-68.52	36	1895	1999
NB	8105200	Sussex	45.72	-65.53	21	1898	1999
NB	8103500	Nepiseguit Falls	47.40	-65.78	106	1923	1999
NB	8101600	Fredericton A	45.87	-66.53	20	1913	1999
NB	8103100	Moncton	46.10	-64.78	12	1898	1999
NB	8104900	St. John	45.31	-65.88	109	1895	1999
IPE	8300300	Charlottetown A	46.28	-63.13	49	1943	1999
IPE	8300400	Charlottetown CDA	46.25	-63.13	23	1895	1999

**LISTE DES STATIONS METEOROLOGIQUES ET DE JAUAGEAGE UTILISEES POUR LES 15 SITES A L'ETUDE**

	Température		Précipitations		Recharge	
	No station	Ville	No station	Ville	No station	Rivière
Sherbrooke	7028124	Sherbrooke	7028124	Sherbrooke	02OE026/27	Eaton
Saguenay	7060400	Bagotville	7060400	Bagotville	02RH034/35 02RH014/29/61	Aux Écores Aux Sables
Outaouais	6105976	Ottawa	6105976	Ottawa	02LD002/005	Petite Nation
Rimouski	7055120	Mont-Joli	7056480	Rimouski	02QA002	Rimouski
Portneuf	7012071	Donnacona	7012071	Donnacona	02PC009	Portneuf
Trois-Rivières	7018563/564/ 701HE63	Trois-Rivières	7018563/564/ 701HE63	Trois-Rivières	02PA007	Batiscan
<b>N.-B.</b>						
Miramichi	8101000	Miramichi	8101000	Miramichi	01BP001	Little SW Miramichi
Sussex	8105200	Sussex	8105200	Sussex	01BV006	Pt. Wolfe
Grand Falls	8101900/904	Grand Falls	8101900/904	Grand Falls	01AG002	Limestone
Nepiseguit Falls	8103500	Nepiseguit Falls	8103500	Nepiseguit Falls	01BE001	Upsalquitch
Fredericton	8101600	Fredericton	8101600	Fredericton	01AL002	Nashwaak
Moncton	8103200	Moncton	8103200	Moncton	01BU002	Petitcodiac
St. John	8104900	St. John	8104900	St. John	01AQ001	Lepreau
<b>I.-P.-É.</b>						
Bangor	8300300	Charlottetown	8300400	Charlottetown	01CE003/004	Brudenell
O'Leary	8300525	O'Leary	8300525	O'Leary	01CA003	Carruthers



# **ANNEXE B**

**Présentation de la base de données et du module d'extraction**



**Modèle de données pour l'application  
Météo, Piézo et Hydro (MPH).  
Par Annie Morin, Révisé Janvier 2003.**

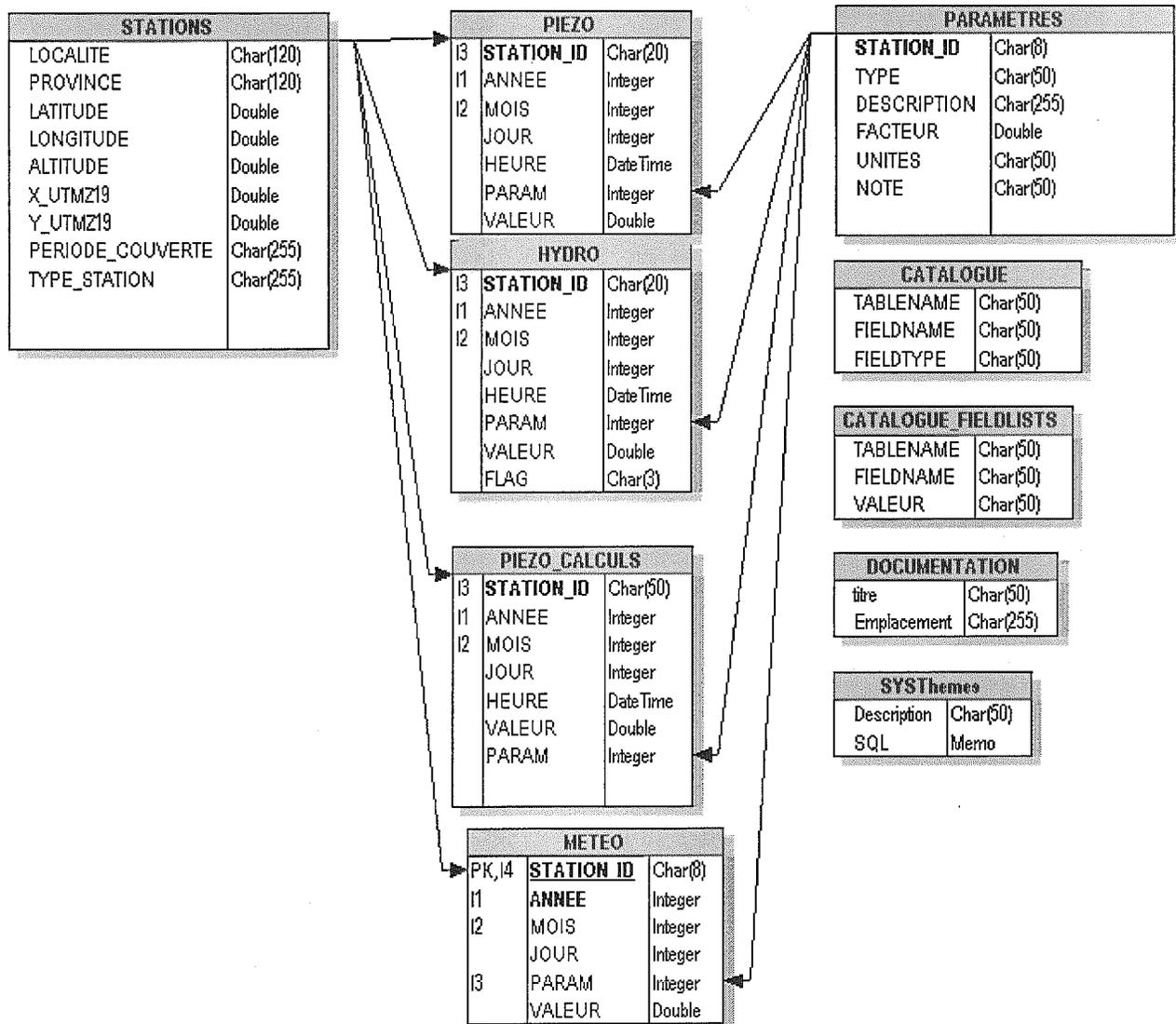


Figure B-1 : Modèle utilisé pour la conception de la base de données

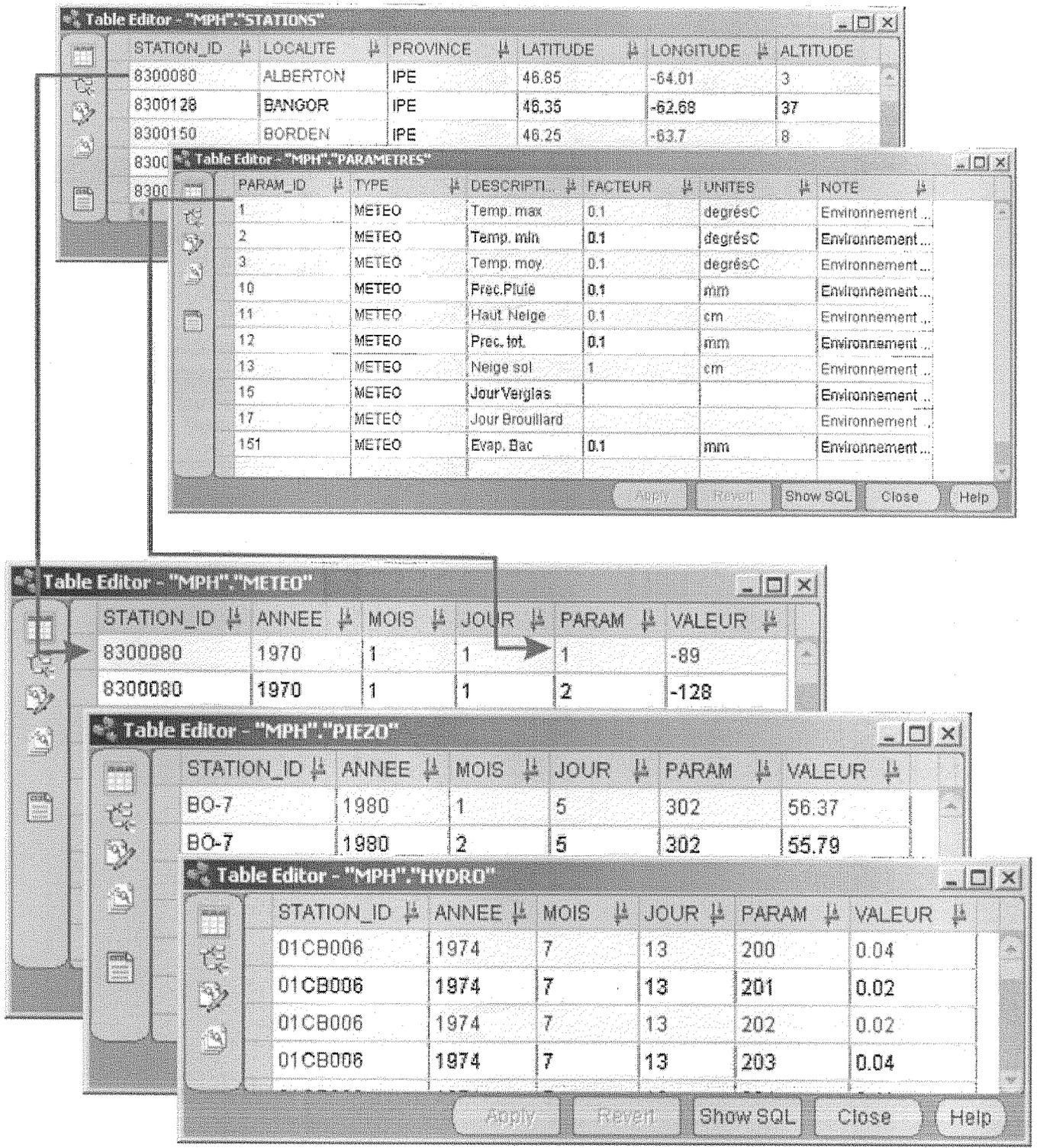


Figure B-2 : Exemple de données brutes disponibles dans la base

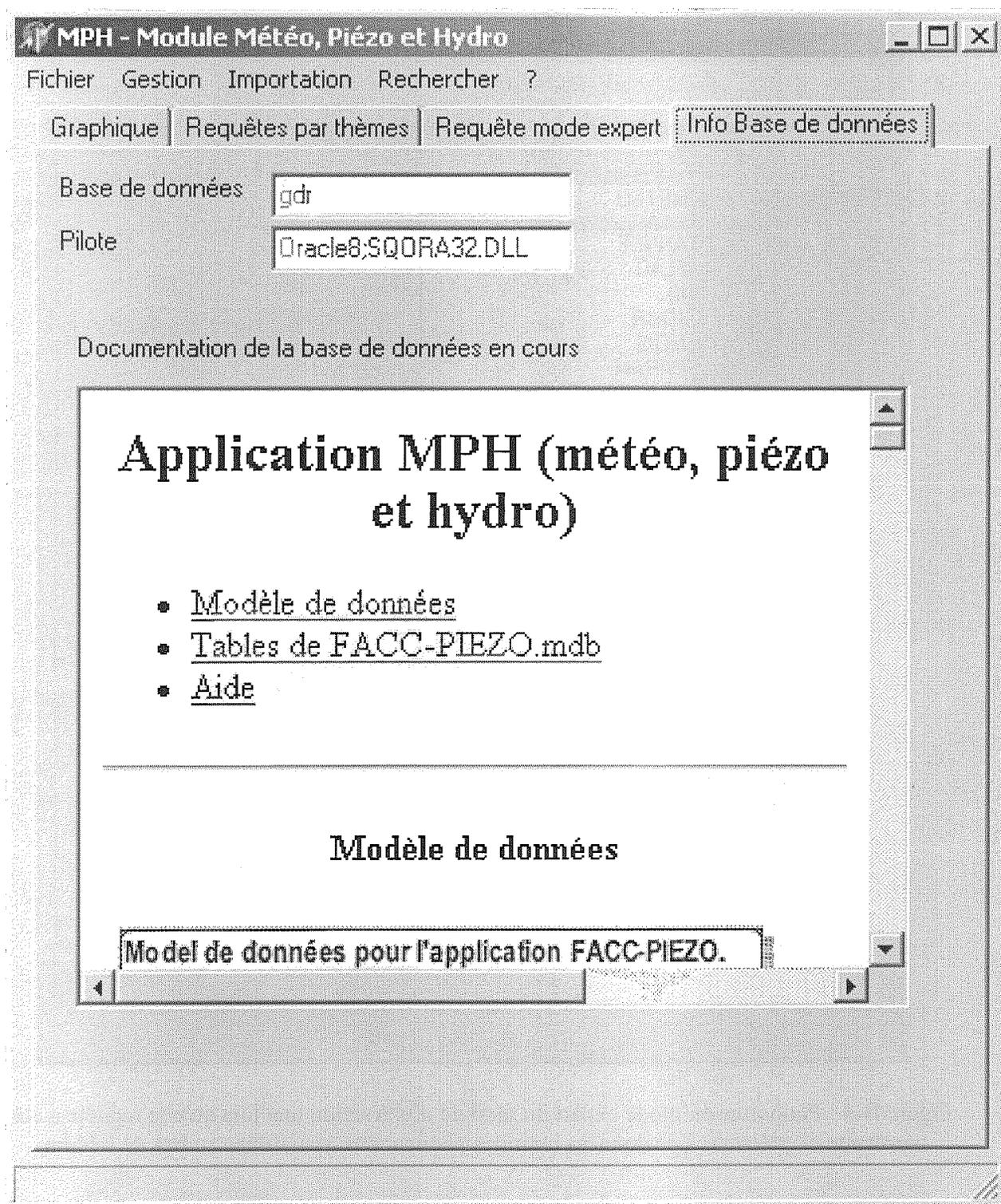


Figure B-3 : Panorama de départ de l'application du module d'extraction une fois connecté à la base de données.

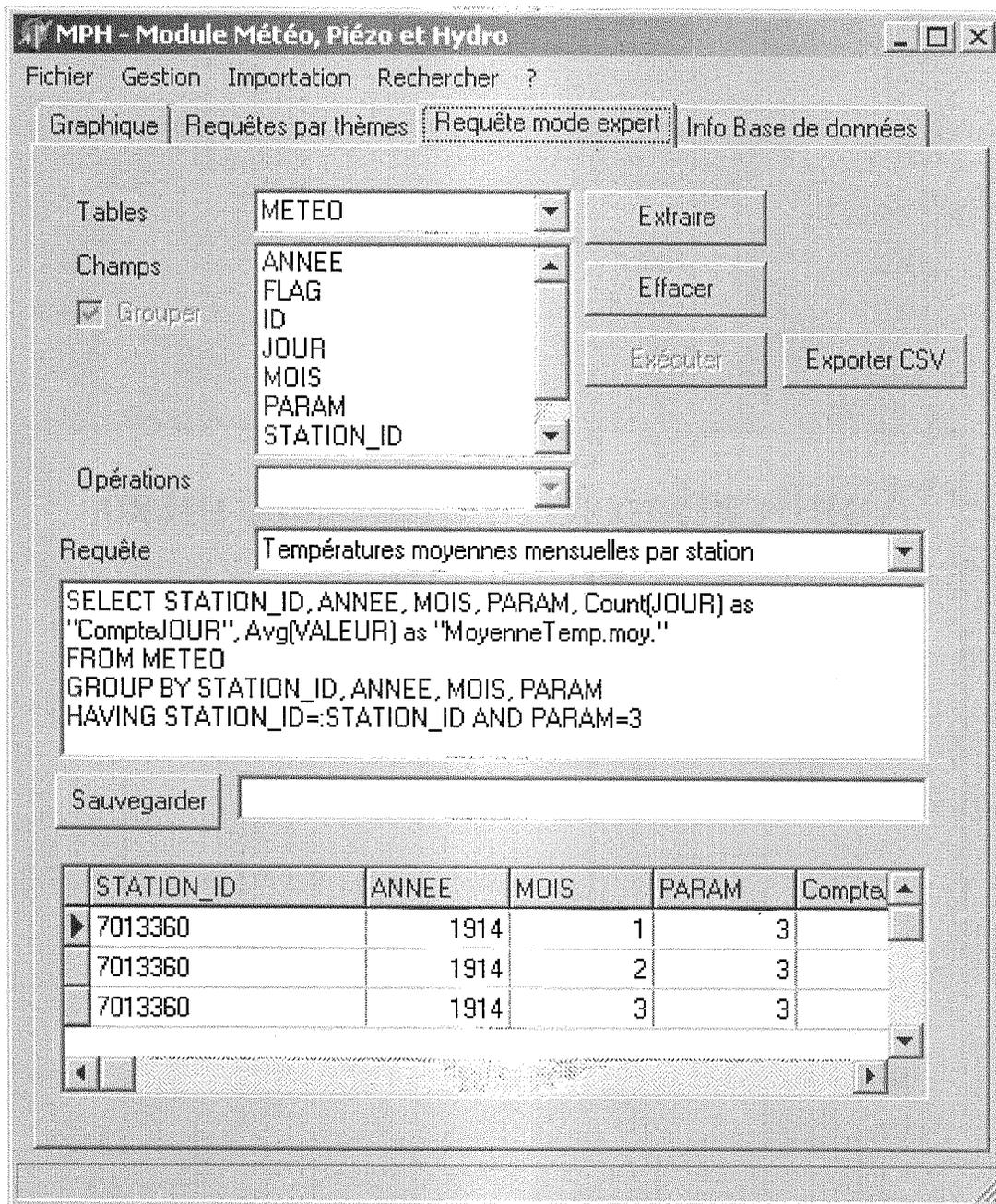


Figure B-4 : Panorama en mode expert du module d'extraction une fois qu'une requête a été construite et exécutée. Les données extraites peuvent être visualisées au bas de l'écran.

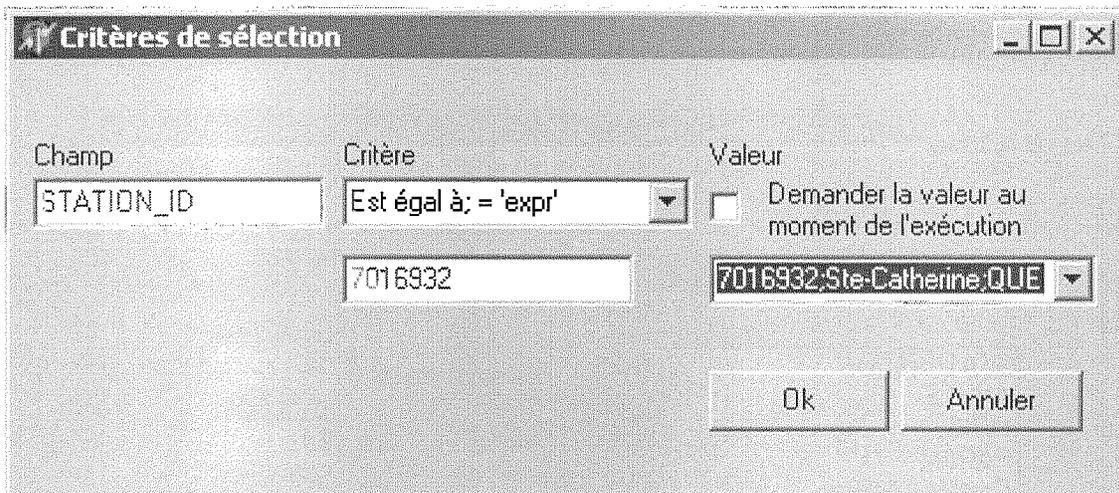


Figure B-5 : Création d'une requête en mode expert. Les champs à extraire avec les critères désirés y sont définis.

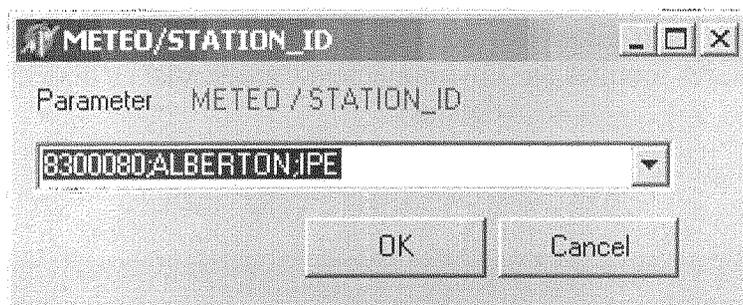


Figure B-6 : Liste des stations météorologiques lors de l'exécution d'une requête pré-enregistrée paramétrée en mode expert ou par thème.

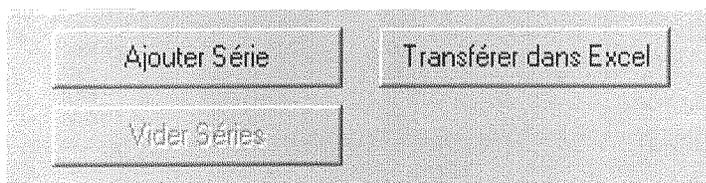


Figure B-7 : Options pour la sauvegarde des résultats du mode expert pour un éventuel transfert dans Excel.

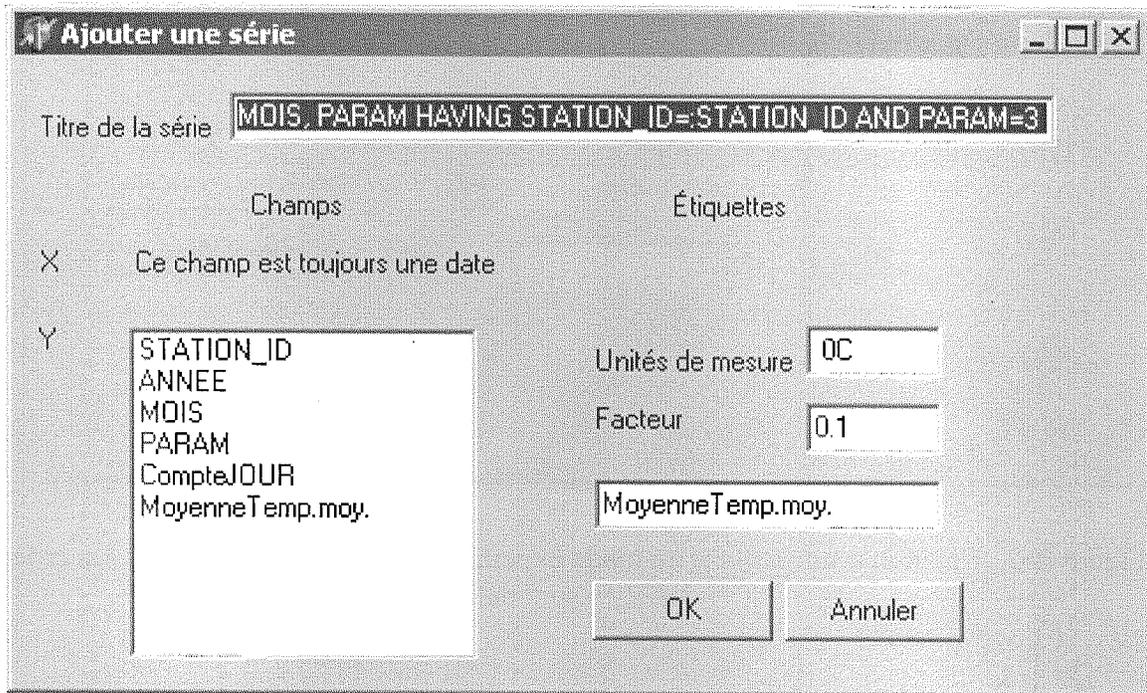


Figure B-8 : Fenêtre de sélection de données à sauvegarder pour un transfert éventuel vers Excel. Un facteur multiplicatif est parfois nécessaire, en fonction des données disponibles (exemple : les températures fournies par Environnement Canada sont en dixième de degrés Celsius).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Températures moyennes mensuelles par stationPARAMETRE=Temp.moy.;FACTEUR=0.1;UNIT											
2	Date Time	STATION_ID	ANNEE	MOIS	PARAM	NBJOUR	VALEUR	DateTime	STATION_ID	ANNEE	MOIS	PARAM
616	1967-05-01	7013360	1967	5	3	3.10	8.64					
617	1967-06-01	7013360	1967	6	3	3.00	18.71					
618	1967-07-01	7013360	1967	7	3	3.10	20.60					
619	1967-08-01	7013360	1967	8	3	3.10	18.99					
620	1967-09-01	7013360	1967	9	3	3.00	14.48					
621	1967-10-01	7013360	1967	10	3	3.10	7.59	91CA001	1967	10	302	
622	1967-11-01	7013360	1967	11	3	3.00	-0.79	91CA001	1967	11	302	
623	1967-12-01	7013360	1967	12	3	3.10	-6.68	91CA001	1967	12	302	
624	1968-01-01	7013360	1968	1	3	3.10	-14.59	91CA001	1968	1	302	
625	1968-02-01	7013360	1968	2	3	2.90	-12.27	91CA001	1968	2	302	

Figure B-9 : Exemple de fenêtre-résultats, une fois la requête exécutée et les résultats sauvegardés (options de Graphique et utilisation du bouton de transfert vers Excel).

## **ANNEXE C**

**Régressions linéaires : tendances annuelles visuelles pour les températures moyennes, les précipitations totales et la recharge pour la période complète et pour une période fixe de 30 ans (1970-2000)**



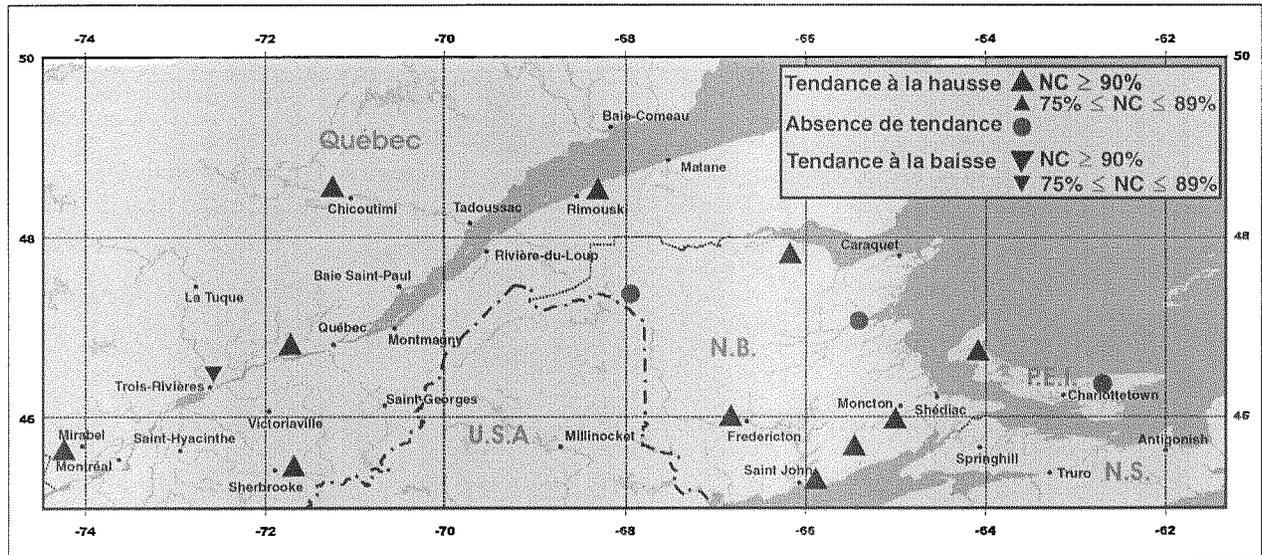


Figure C-1 : Tendances annuelles régionales pour les températures moyennes obtenues à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période complète

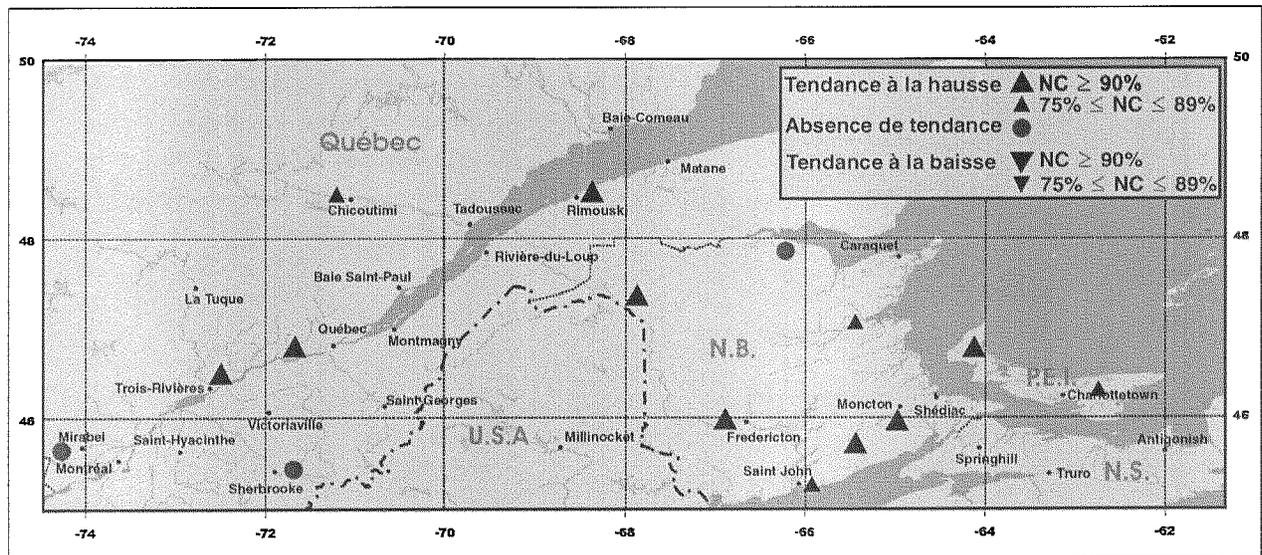


Figure C-2 : Tendances annuelles régionales pour les précipitations totales obtenues à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période complète

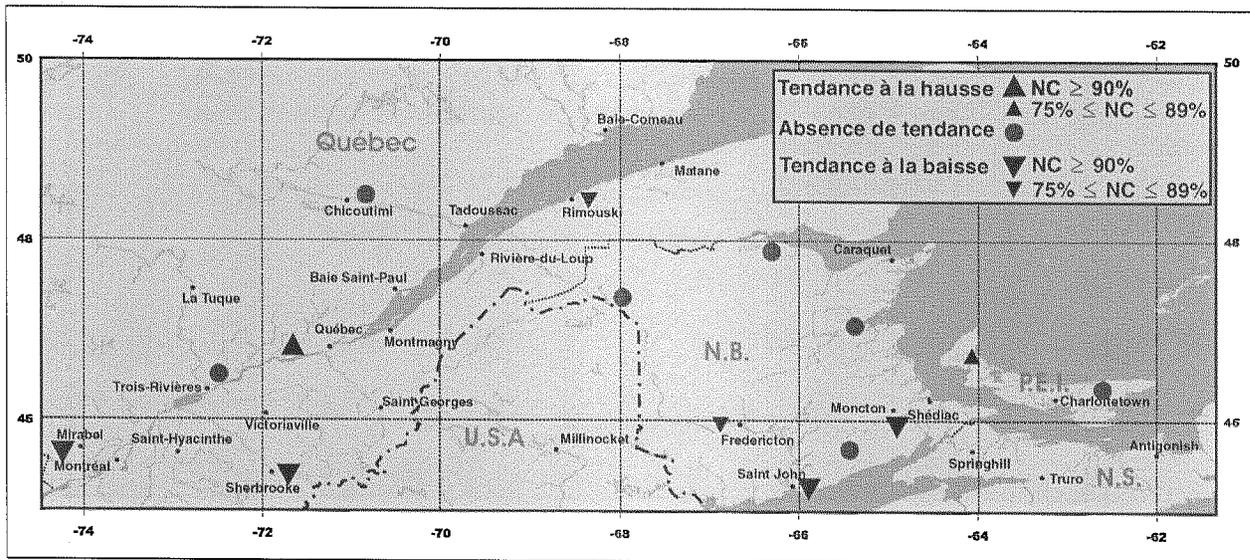


Figure C-3 : Tendances annuelles régionales pour la recharge obtenues à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période complète

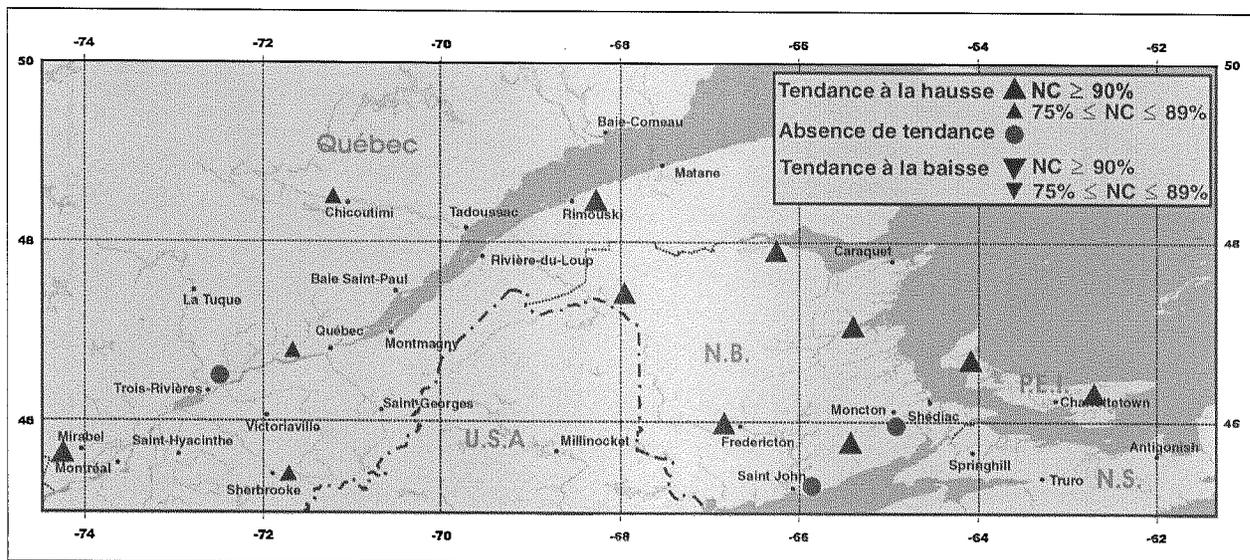


Figure C-4 : Tendances annuelles régionales pour les températures moyennes à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période 1970-1999

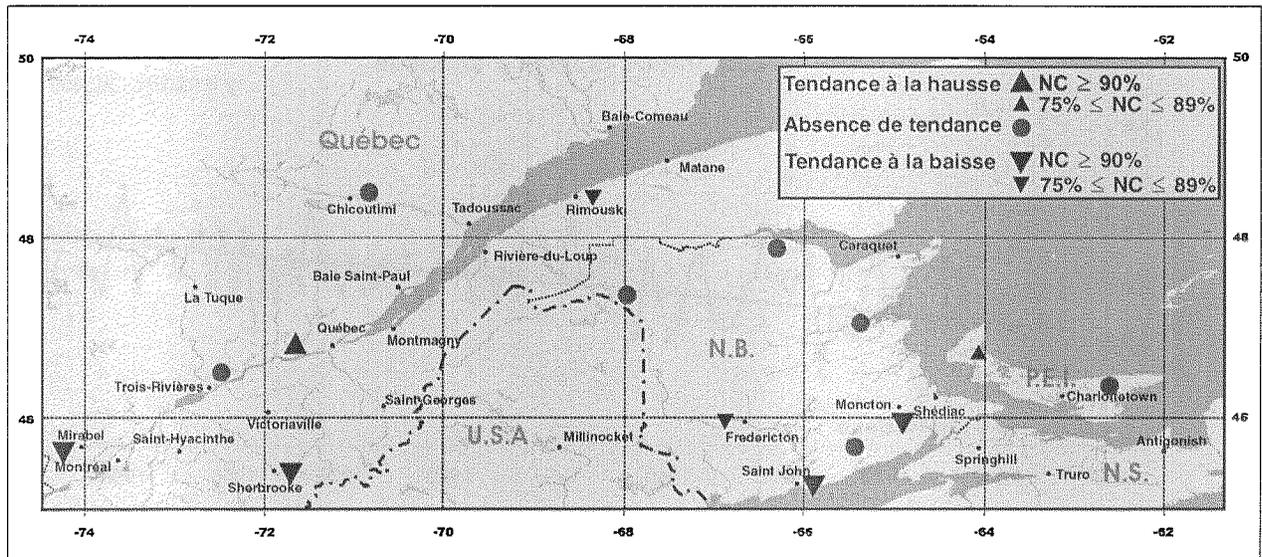


Figure C-5 : Tendances annuelles régionales pour les précipitations totales obtenues à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période 1970-1999

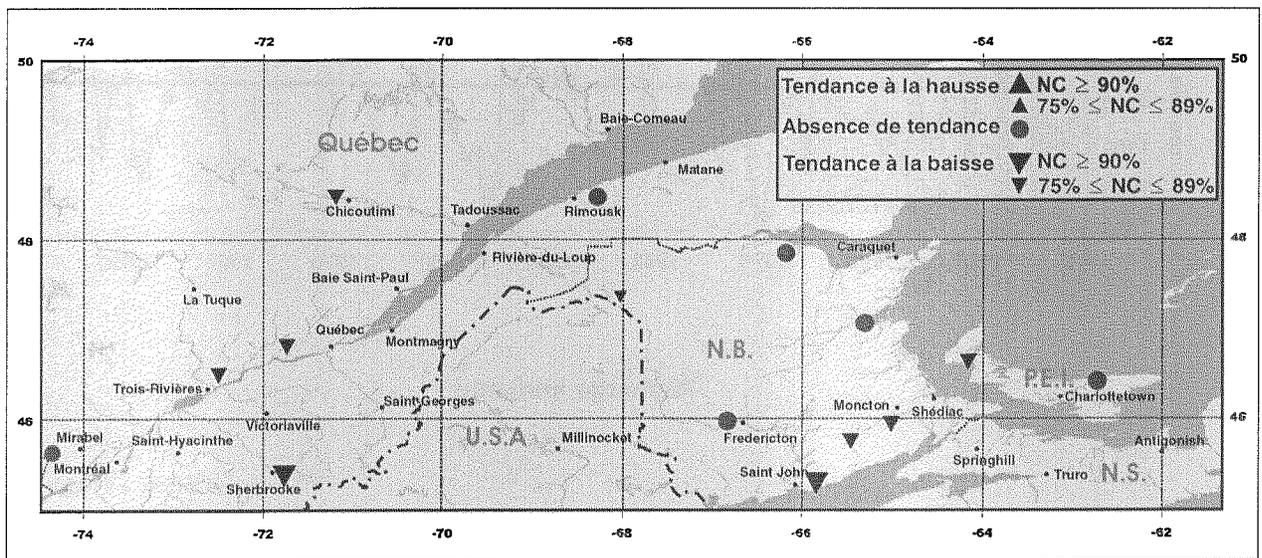
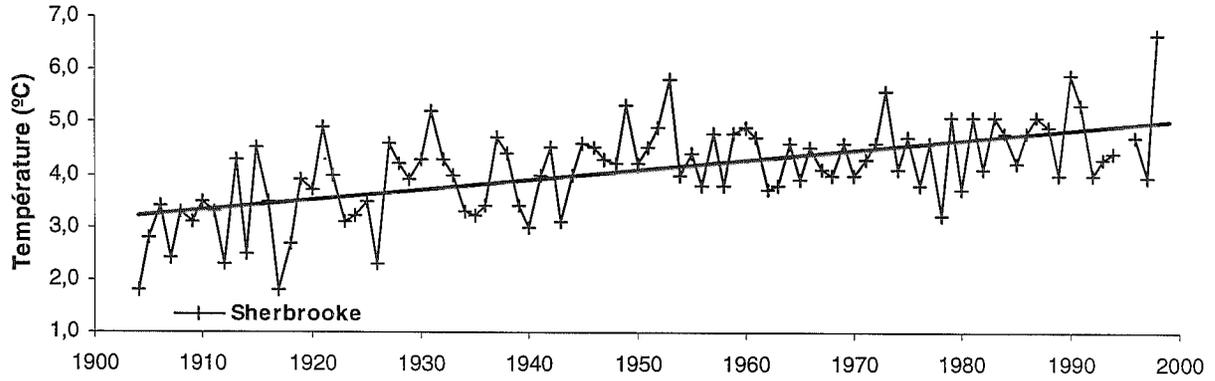


Figure C-6 : Tendances annuelles régionales pour la recharge obtenues à partir du test de Mann-Kendall ( $\alpha=10\%$ ) pour la période 1970-1999

# Sherbrooke, Qc

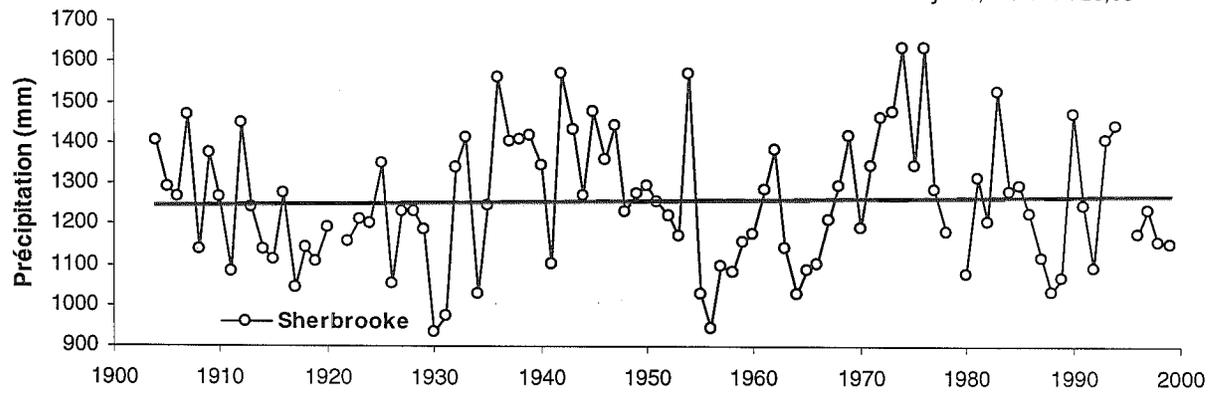
## Température moyenne annuelle

$$y = 0,019x - 32,899$$



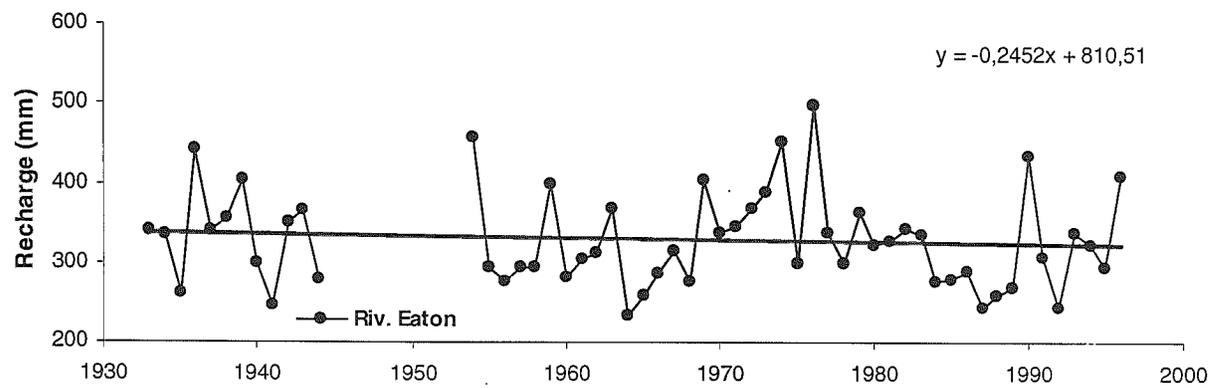
## Précipitation annuelle

$$y = 0,2707x + 728,63$$



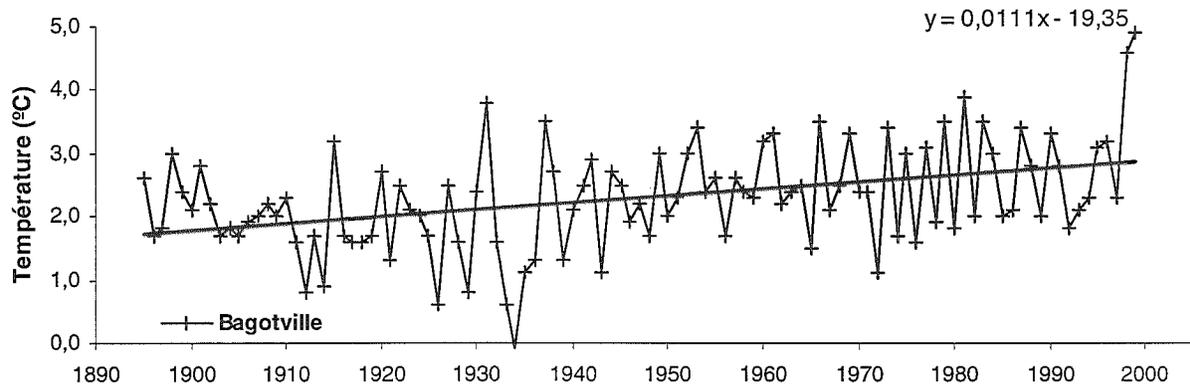
## Recharge annuelle

$$y = -0,2452x + 810,51$$

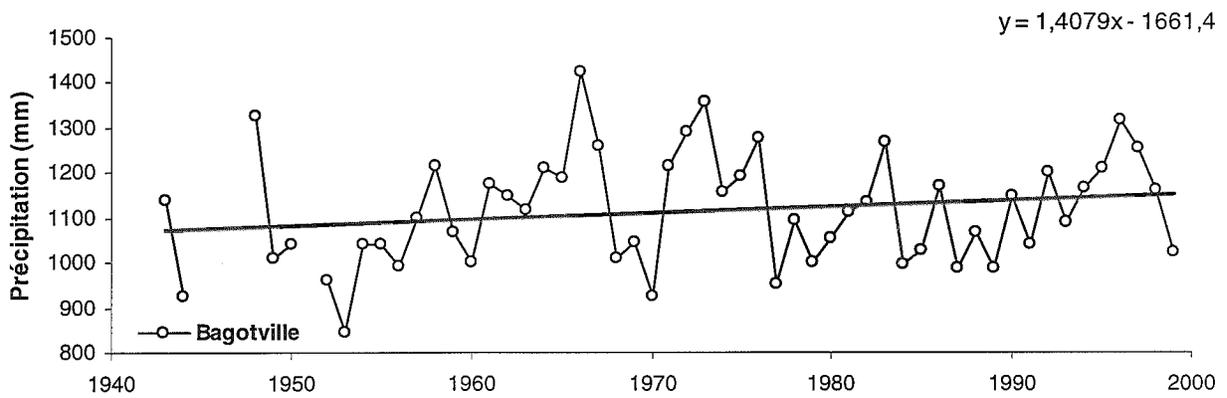


# Saguenay, Qc.

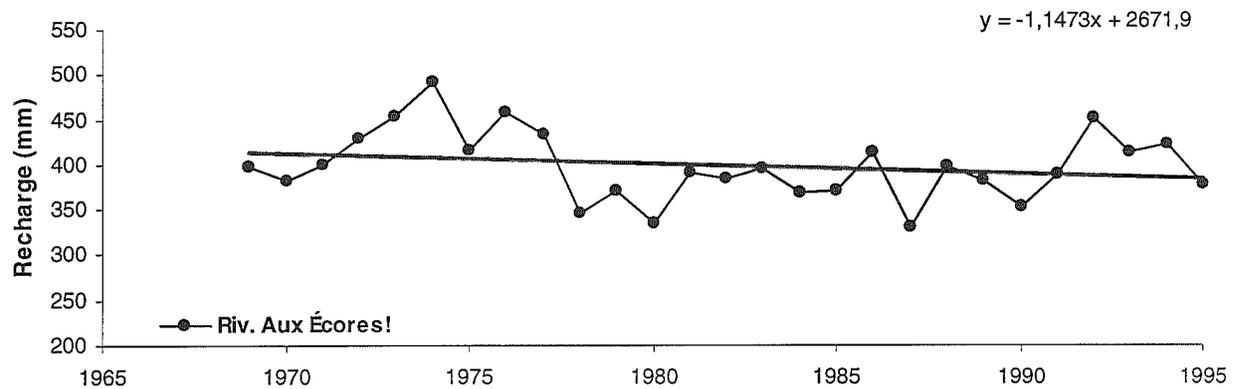
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

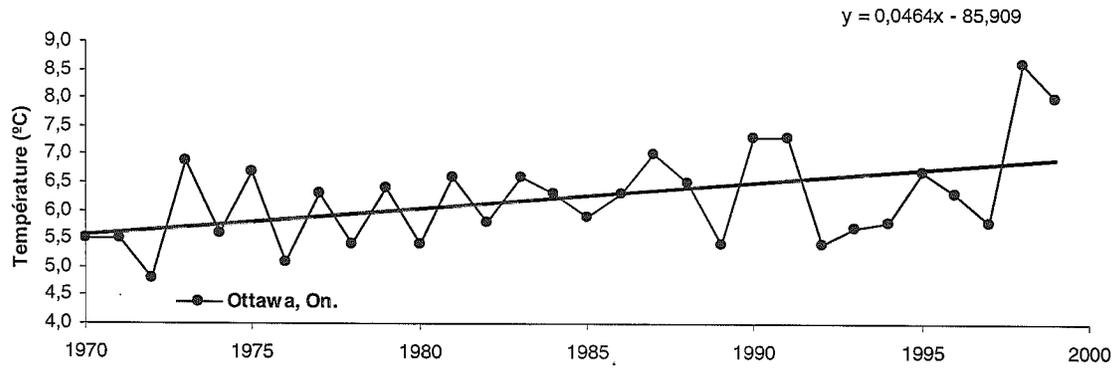


## Recharge annuelle

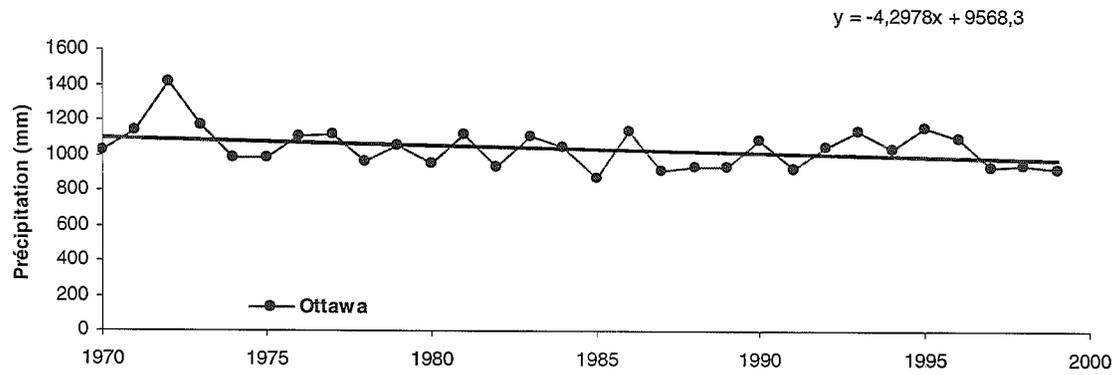


# Outaouais, Qc.

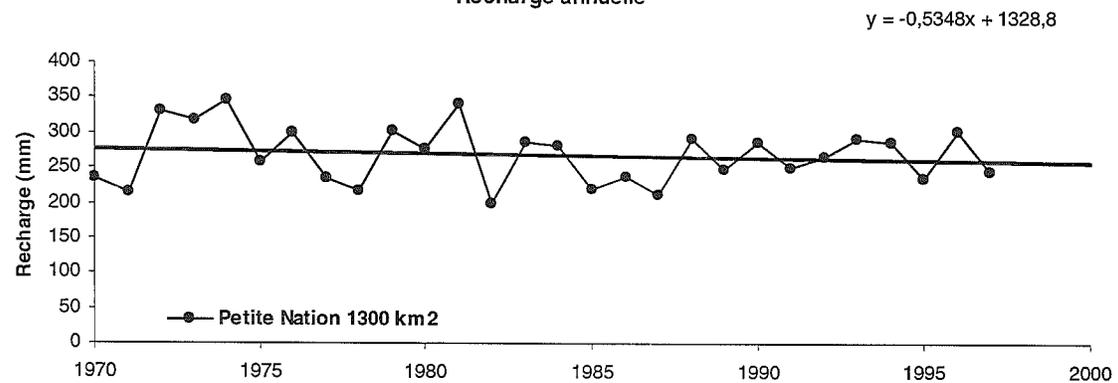
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

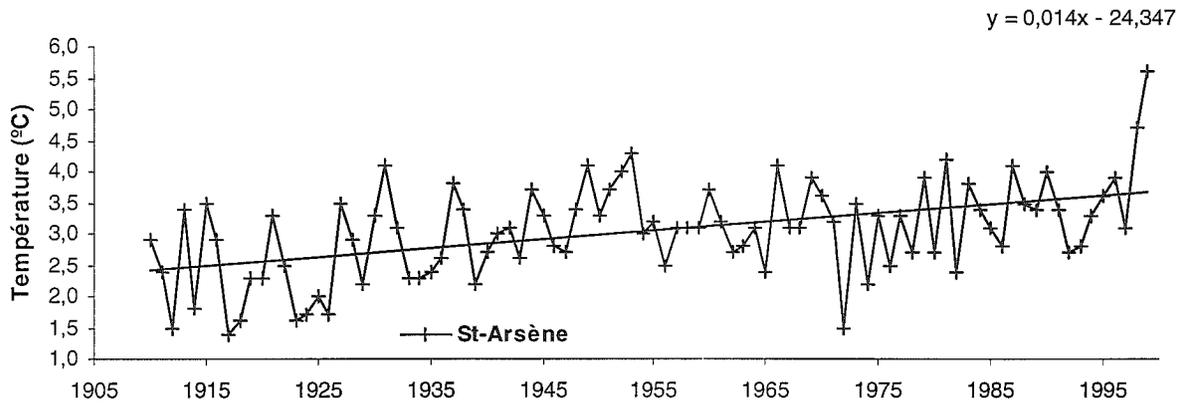


## Recharge annuelle

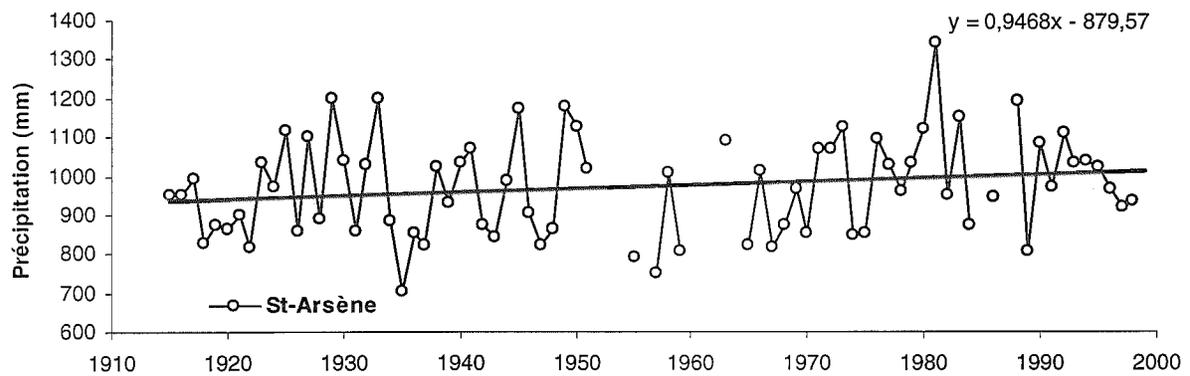


# Rimouski, Qc

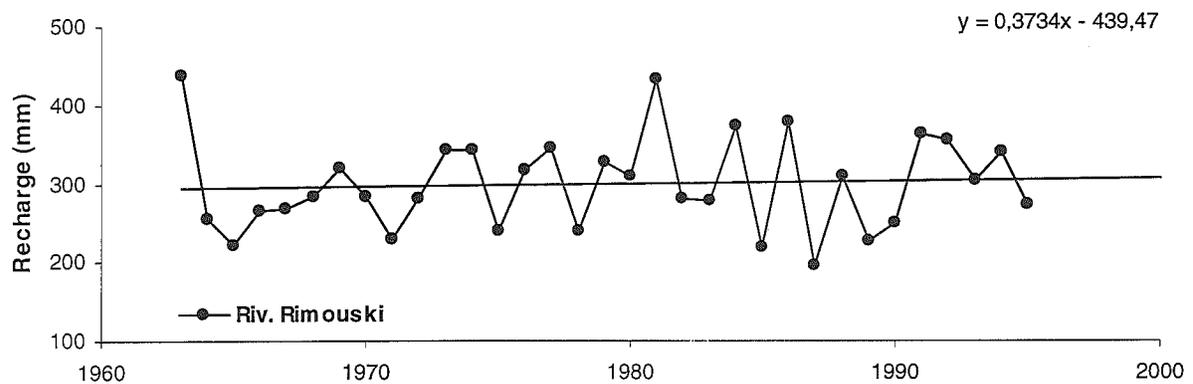
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

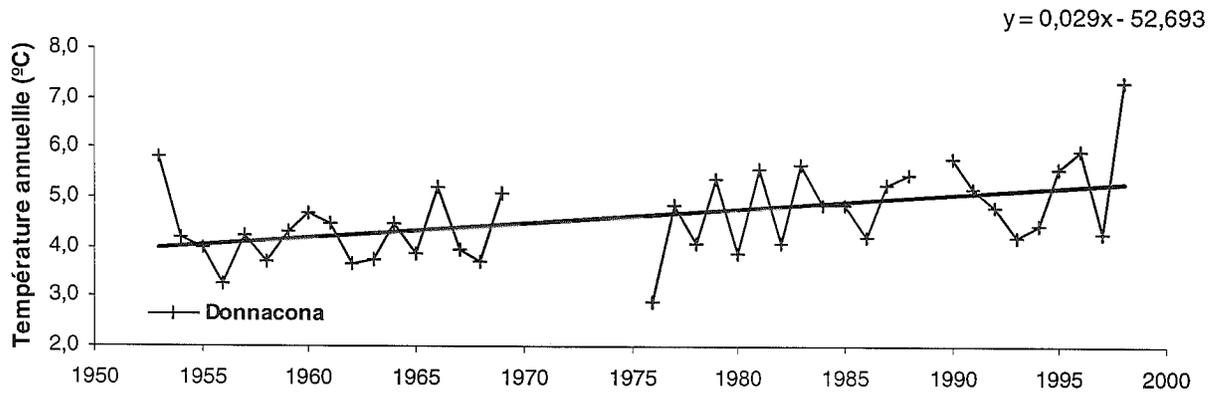


## Recharge annuelle

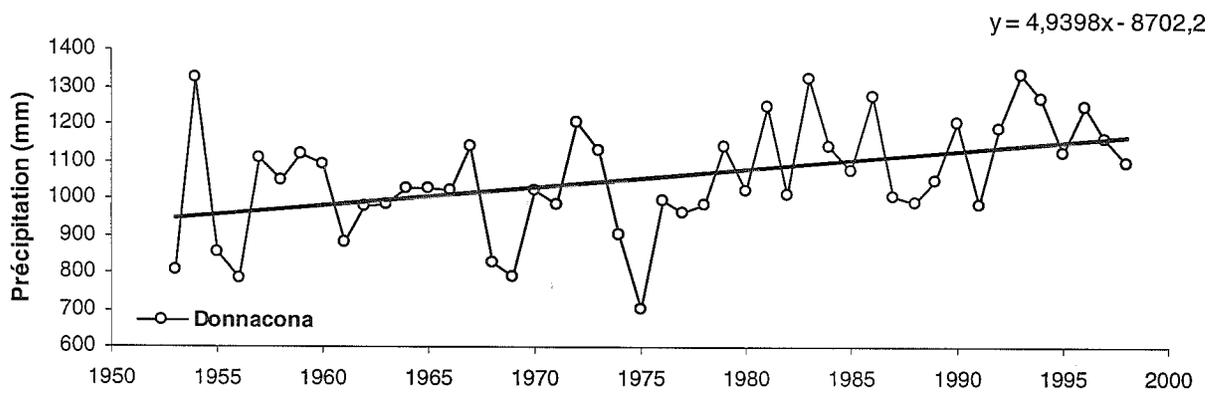


# Portneuf, Qc

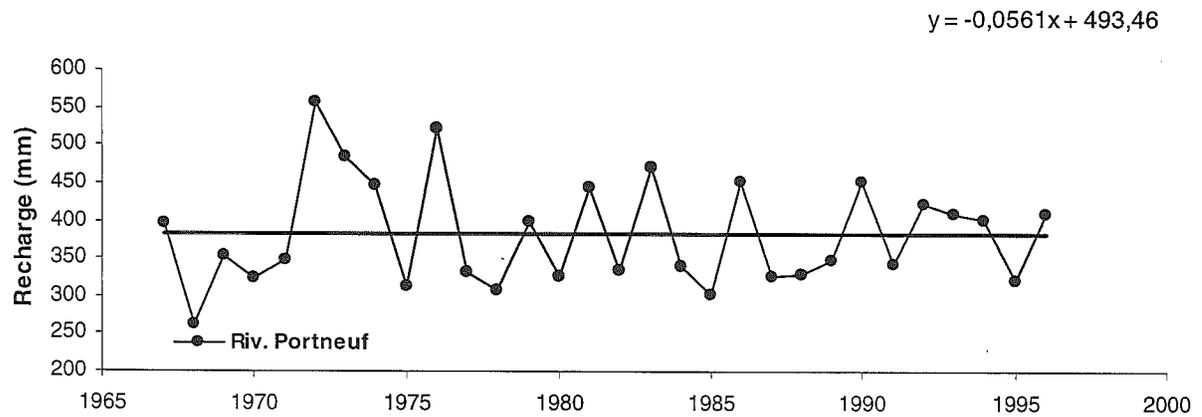
## Température moyenne annuelle



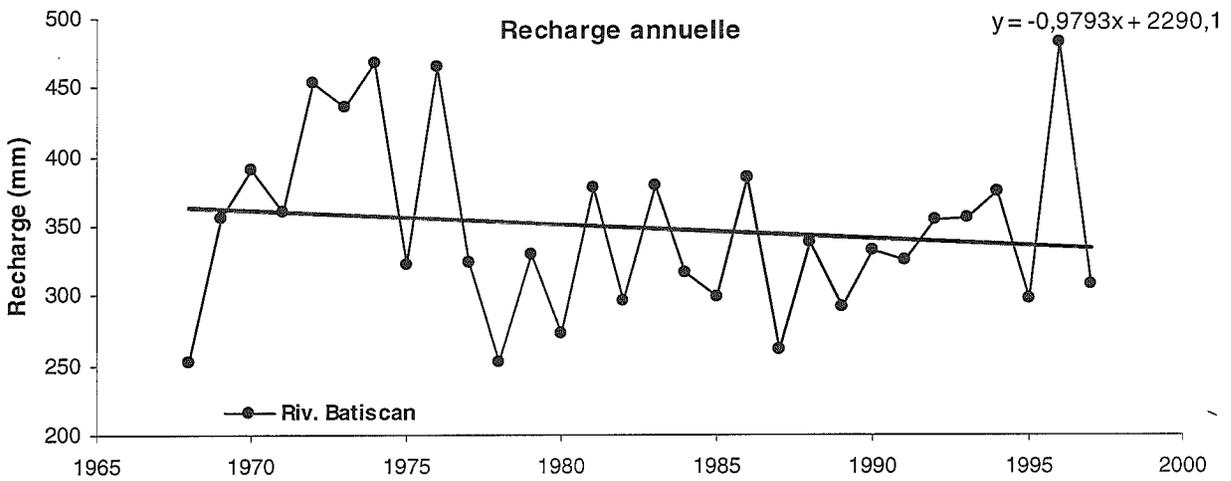
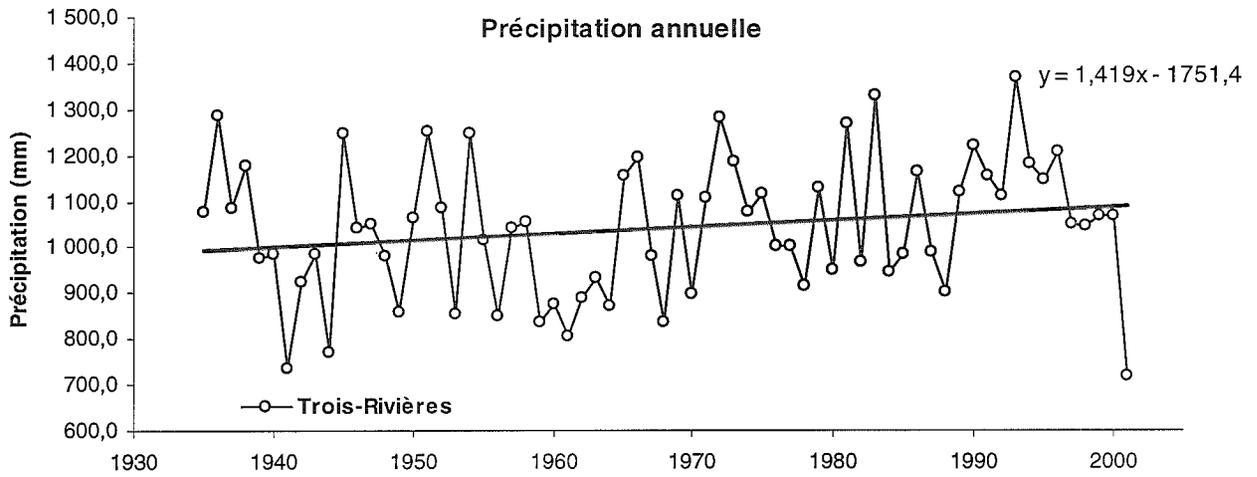
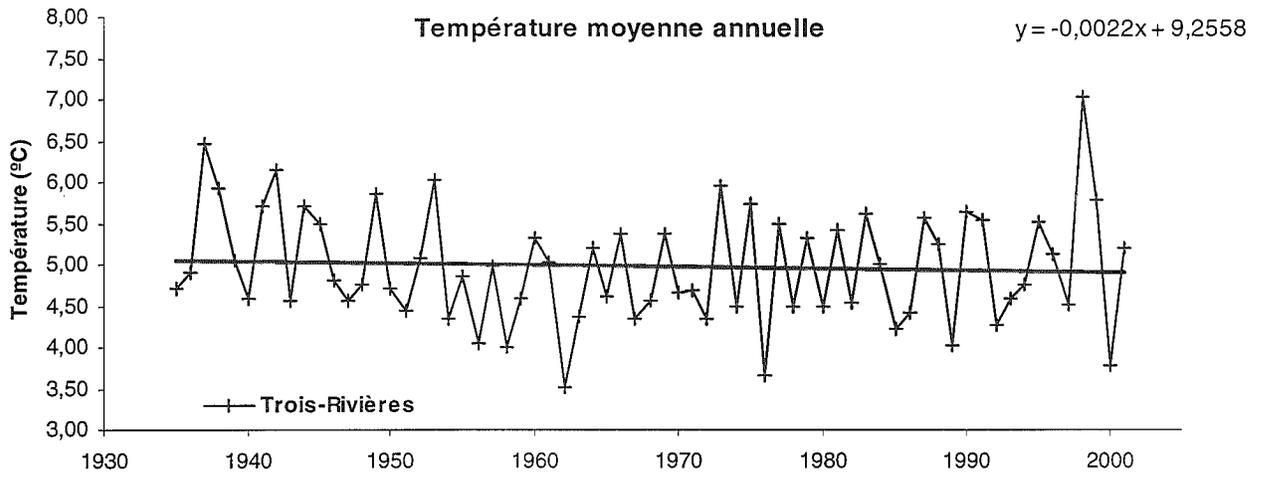
## Précipitation annuelle



## Recharge annuelle

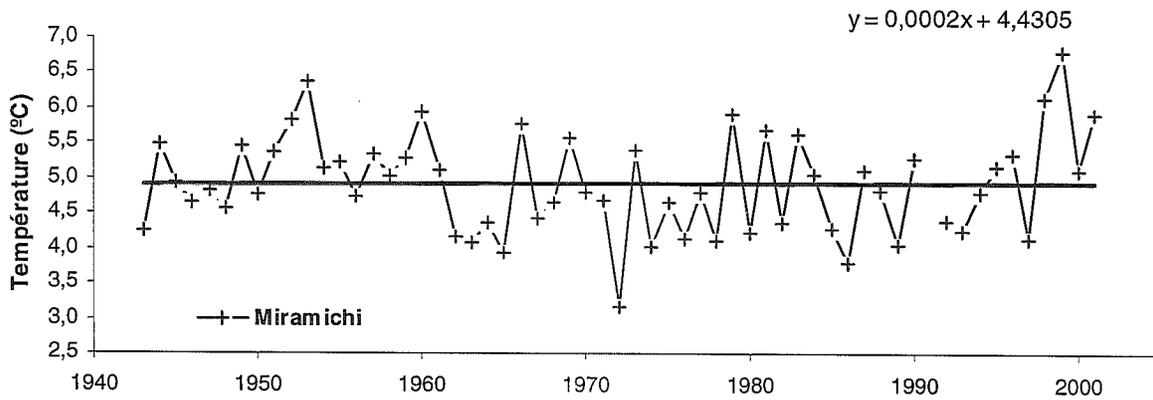


# Trois-Rivières, Qc

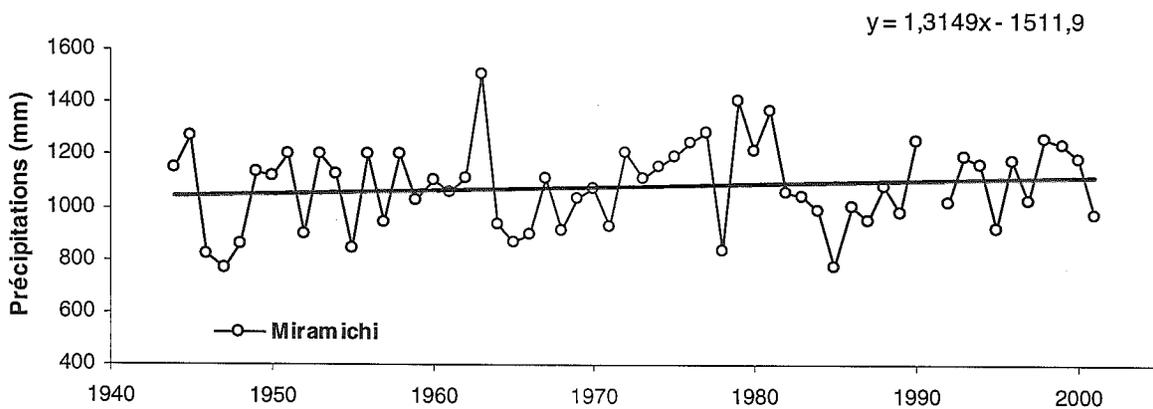


# Miramichi, N.-B.

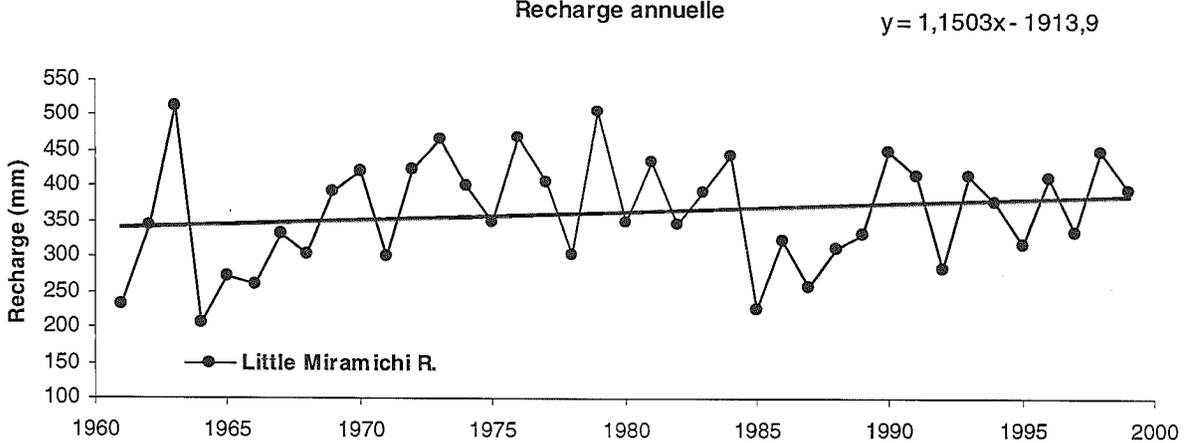
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

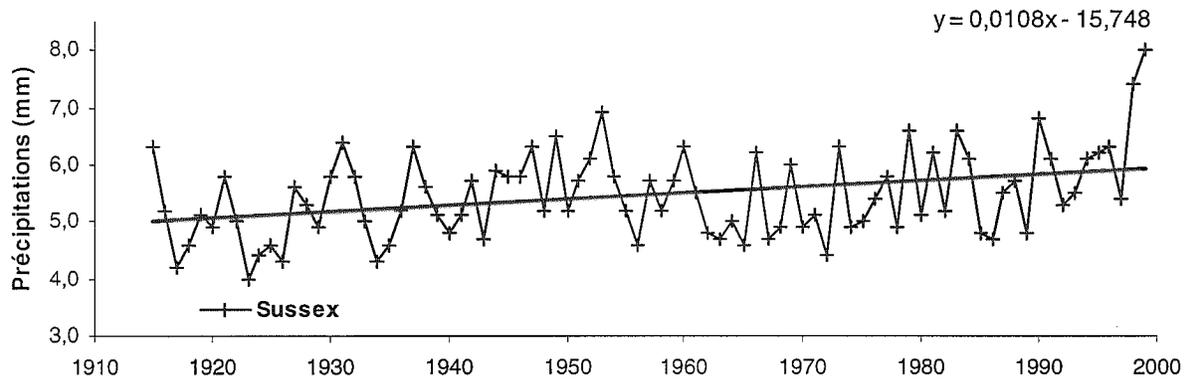


## Recharge annuelle

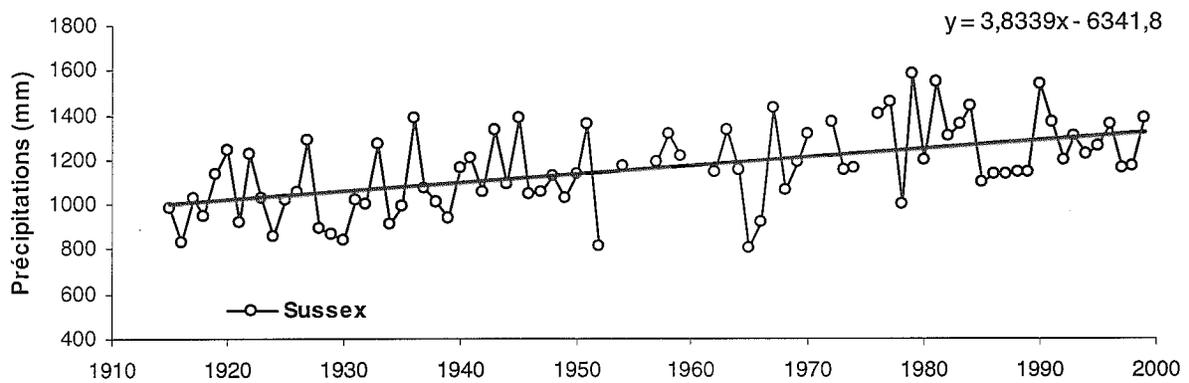


# Sussex, N.-B.

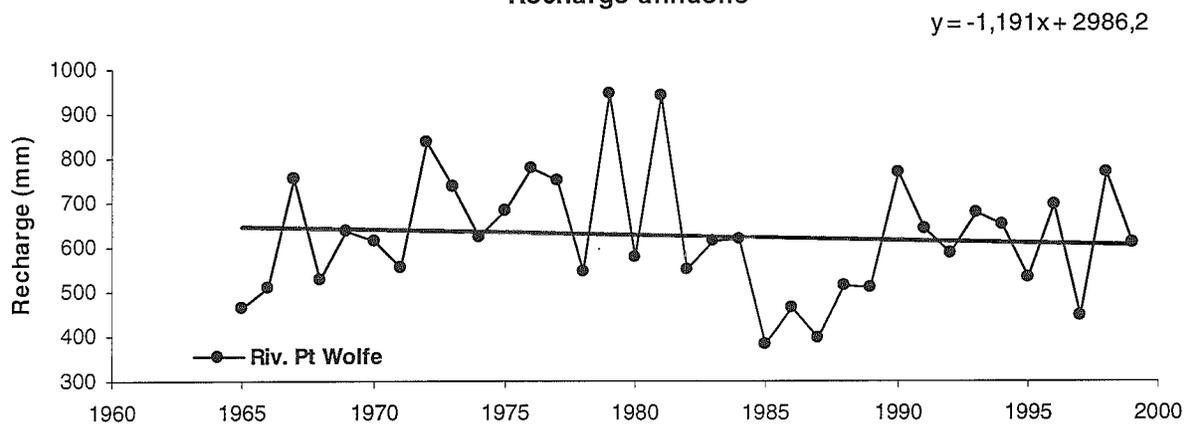
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

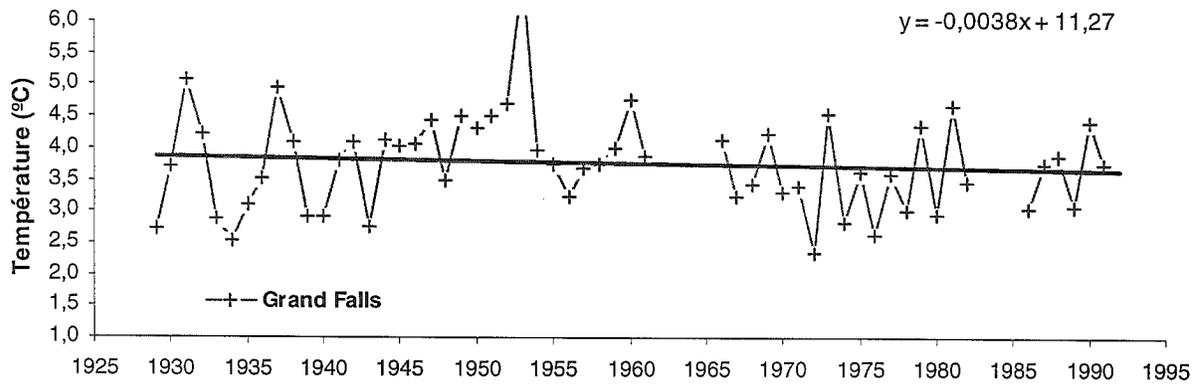


## Recharge annuelle

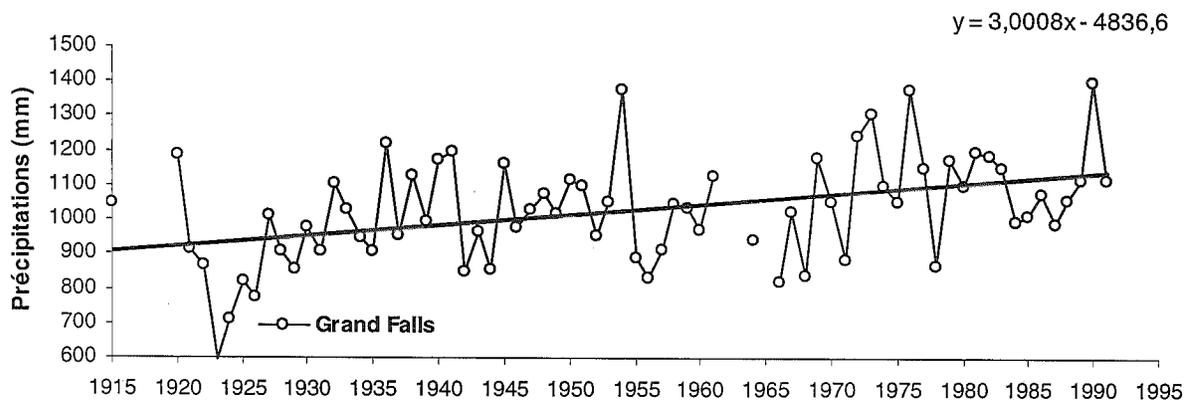


# Grand Falls, N.-B.

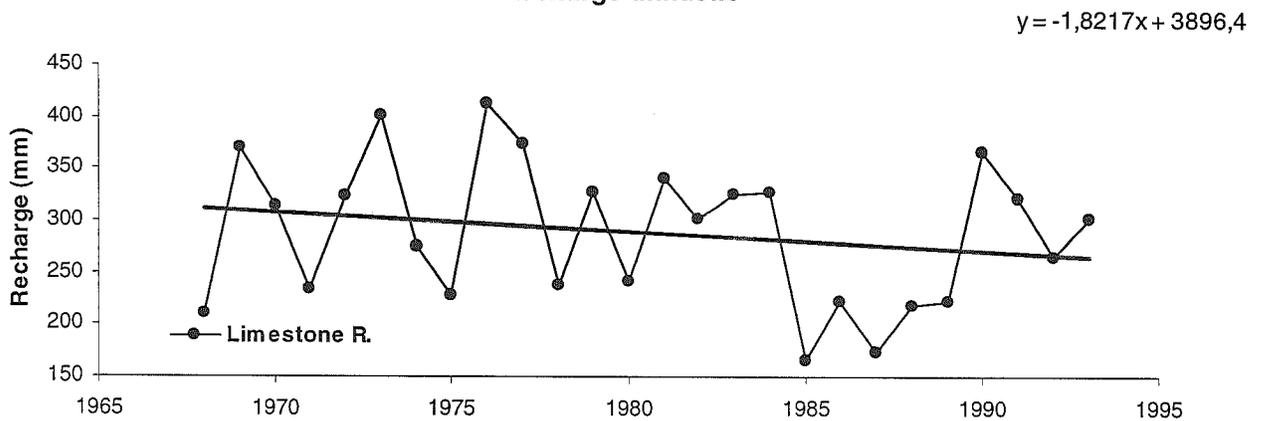
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

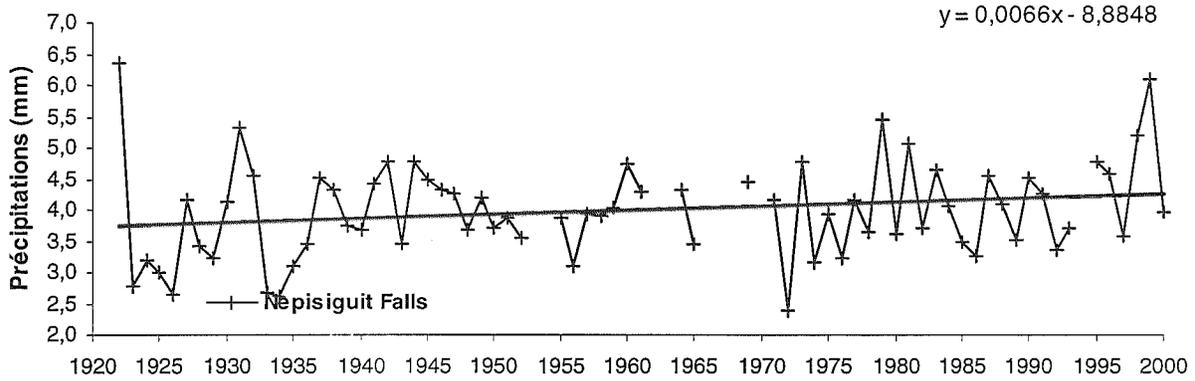


## Recharge annuelle

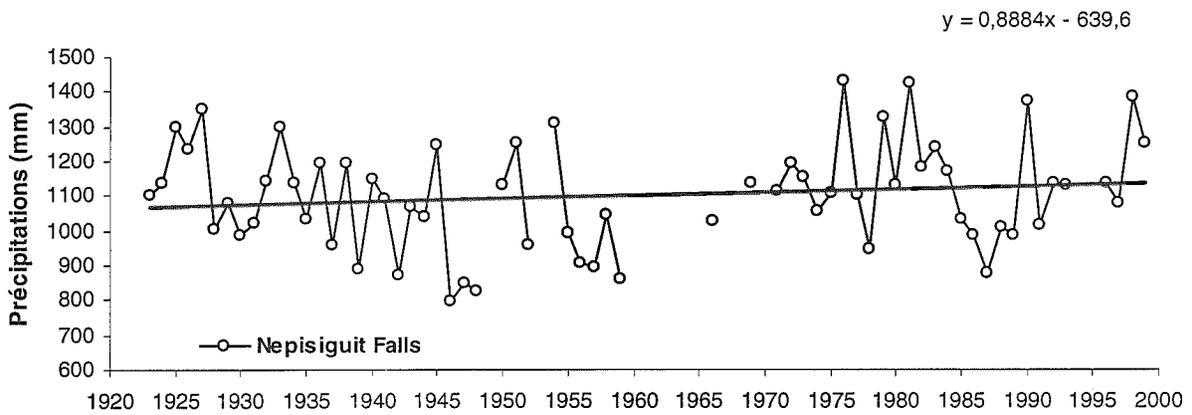


# Nepisiguit Falls, N.-B.

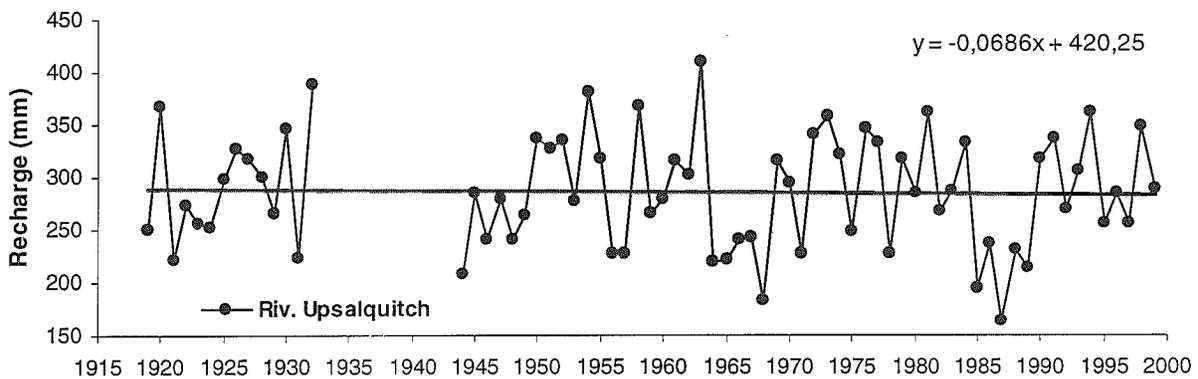
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle

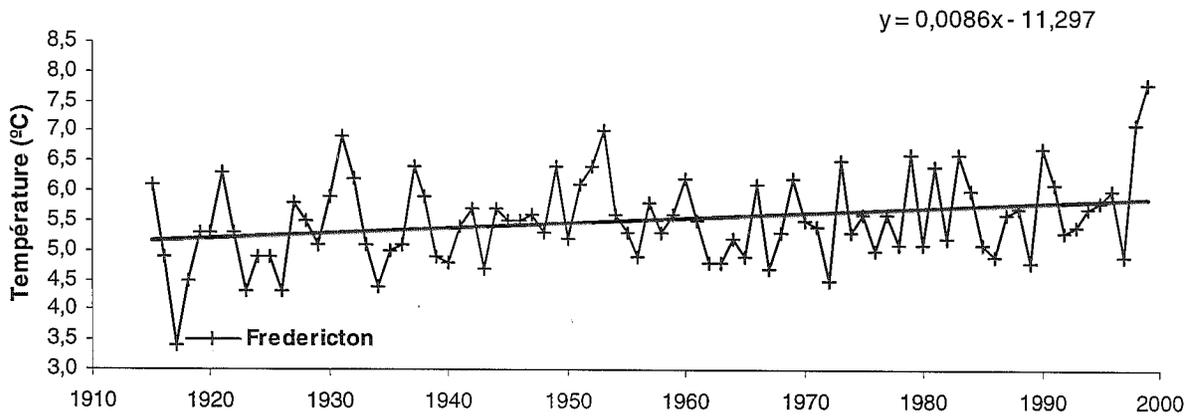


## Recharge annuelle

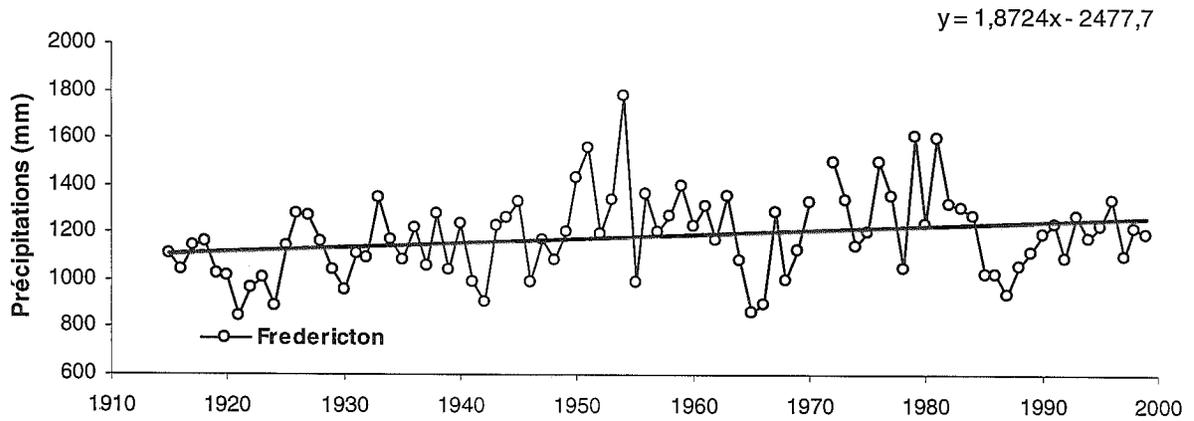


# Fredericton, N.-B.

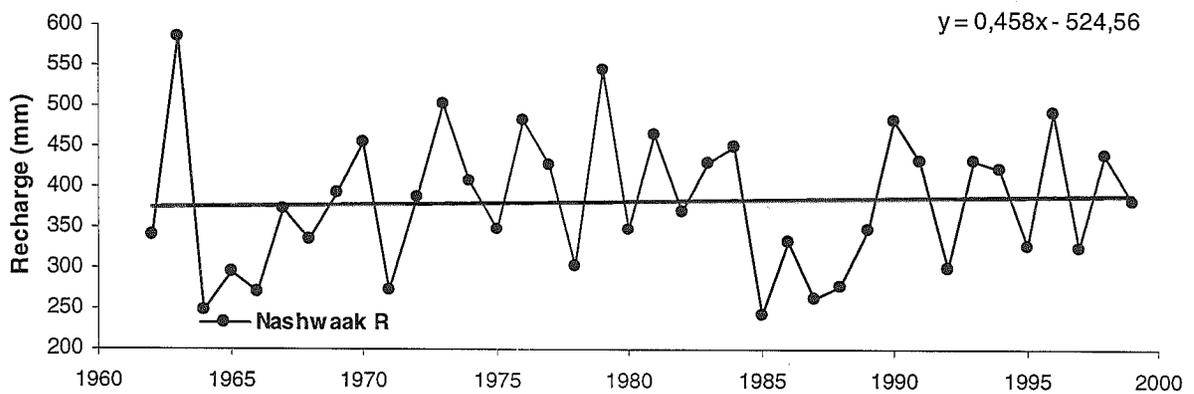
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle



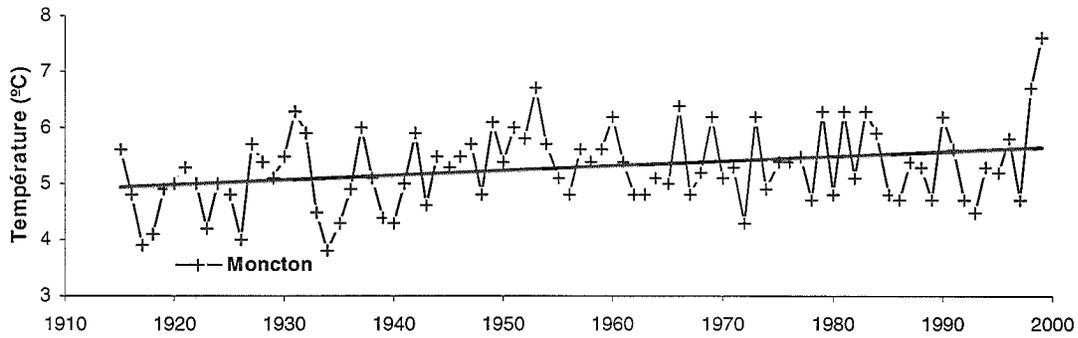
## Recharge annuelle



# Moncton, N.-B.

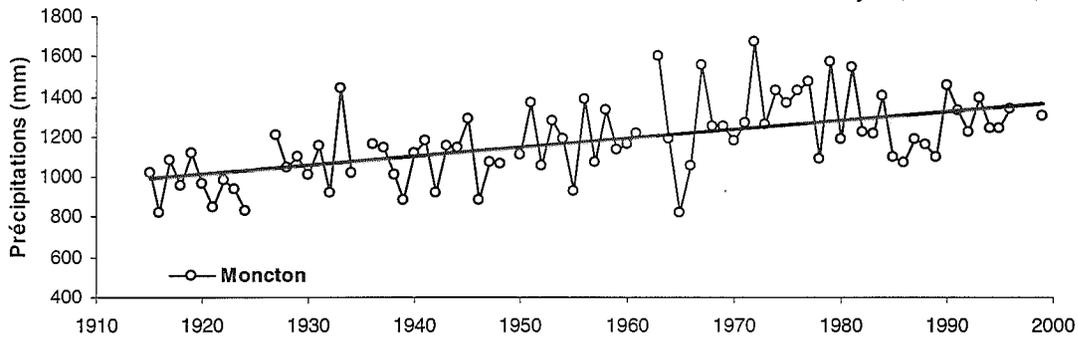
## Température moyenne annuelle

$$y = 0,0086x - 11,478$$



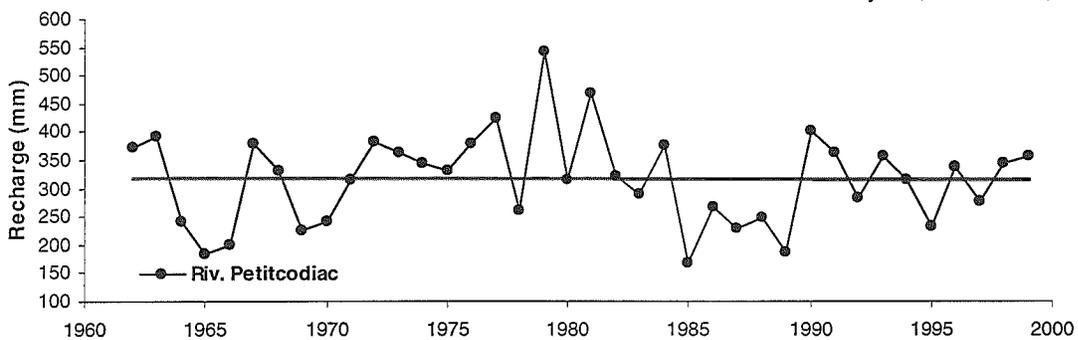
## Précipitation annuelle

$$y = 4,5279x - 7682,2$$



## Recharge annuelle

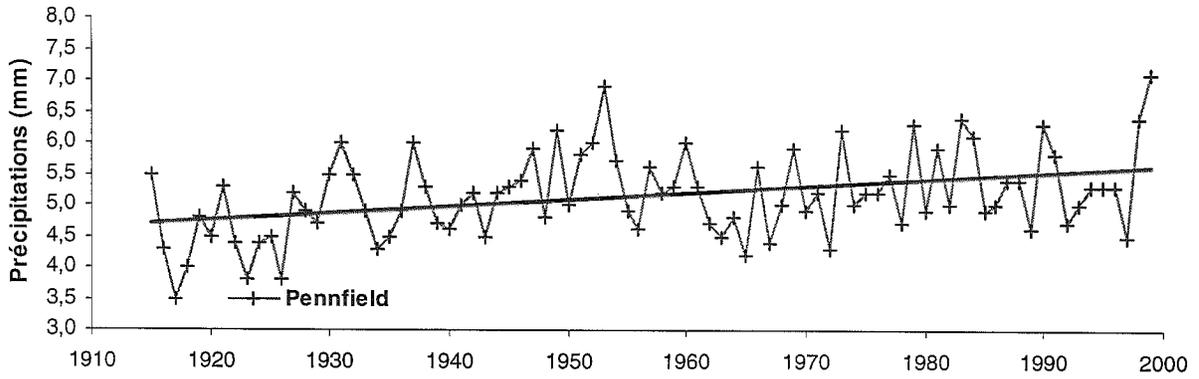
$$y = -0,1068x + 528,15$$



# St-John, N.-B.

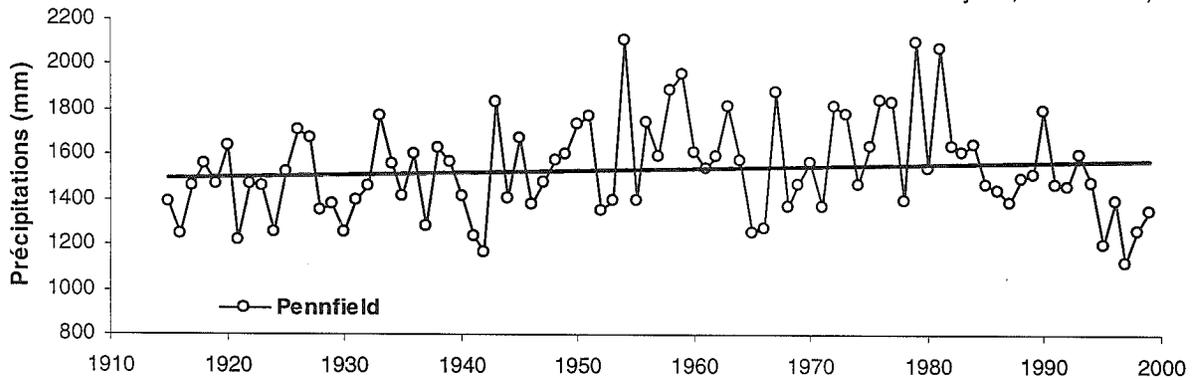
## Température moyenne annuelle

$$y = 0,0108x - 15,964$$



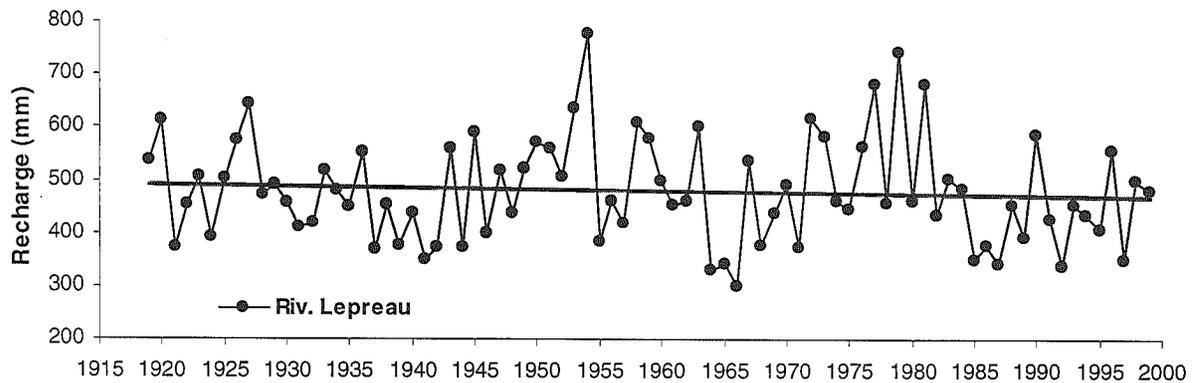
## Précipitation annuelle

$$y = 0,9814x - 384,27$$



## Recharge annuelle

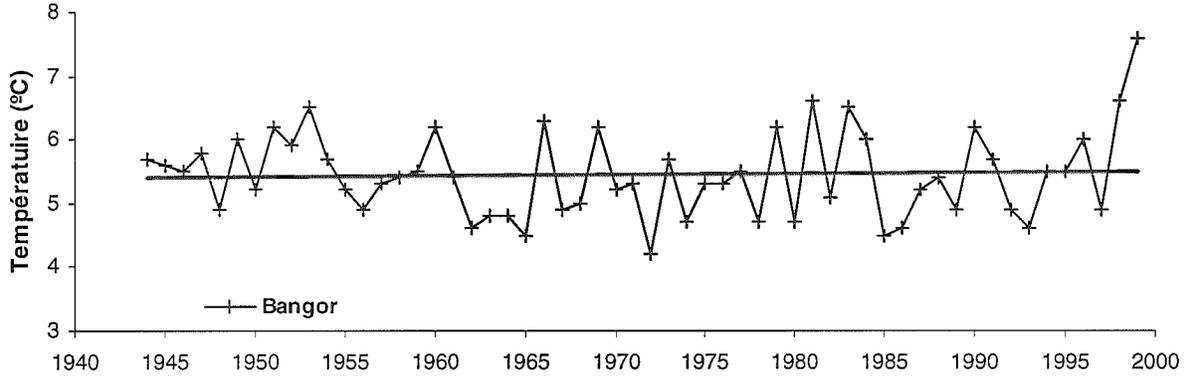
$$y = -0,2948x + 1056,4$$



# Bangor, I.-P.-É.

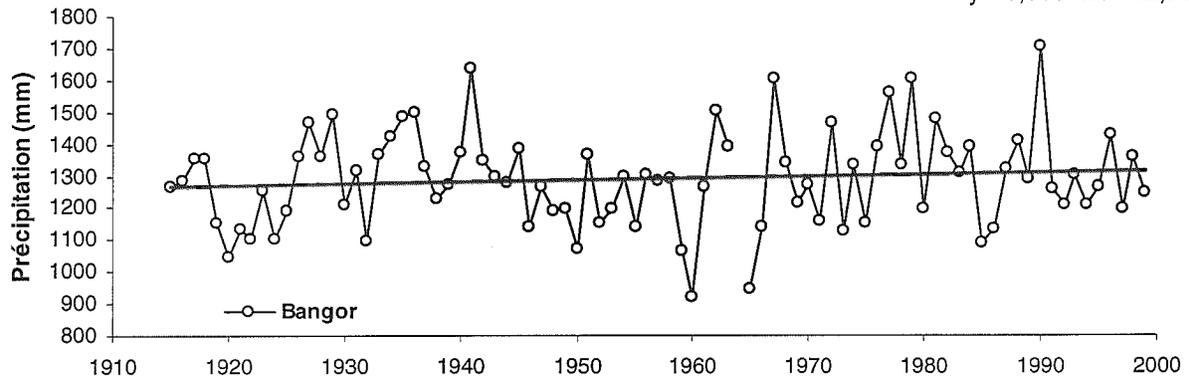
## Température moyenne annuelle

$$y = 0,0017x + 2,0456$$



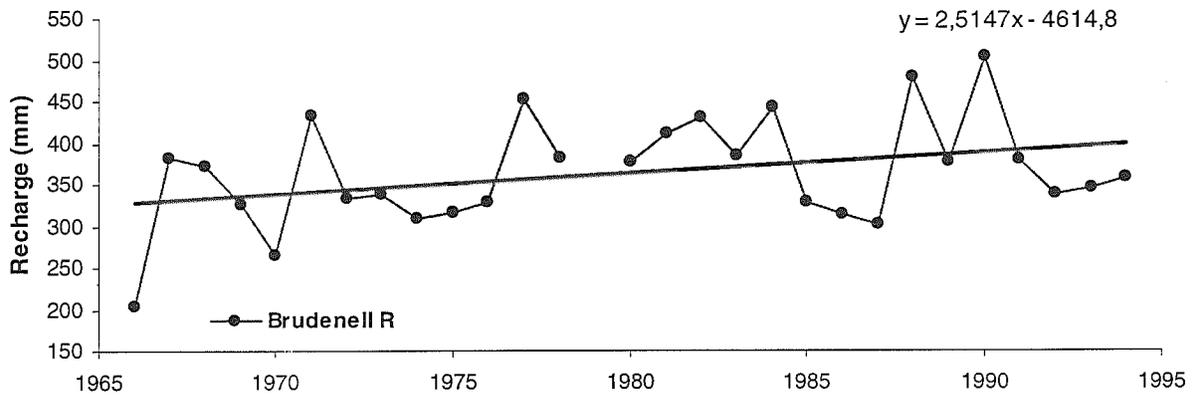
## Précipitation annuelle

$$y = 0,6064x + 102,71$$



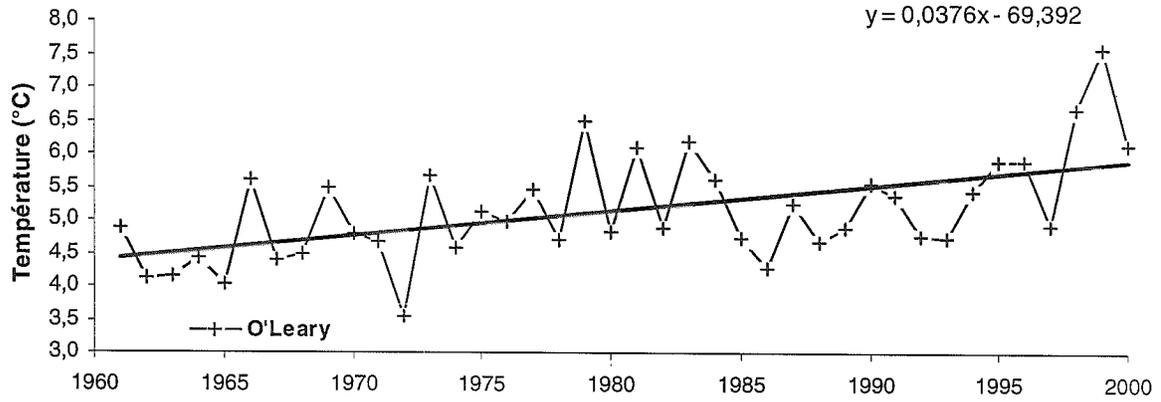
## Recharge annuelle

$$y = 2,5147x - 4614,8$$

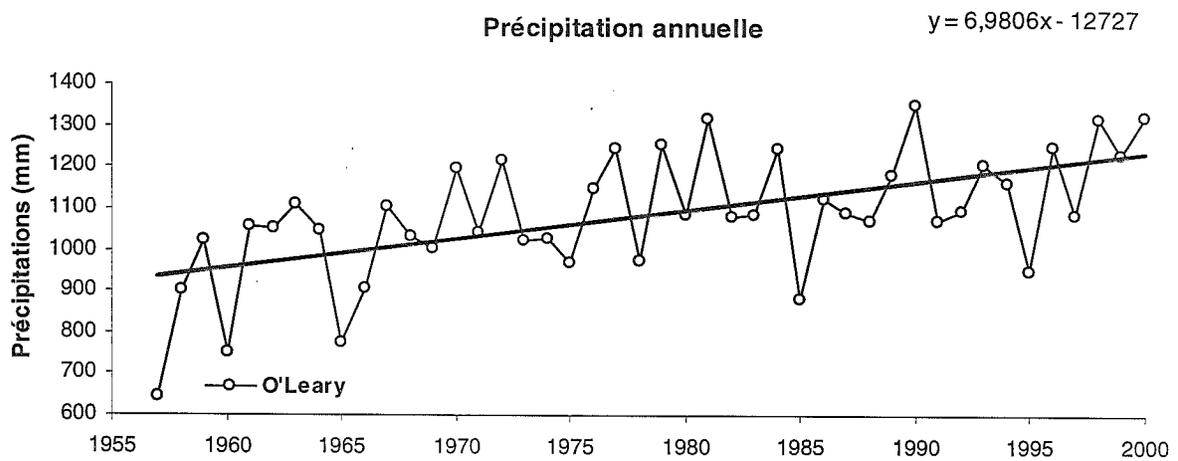


# O'Leary, I.-P.-É.

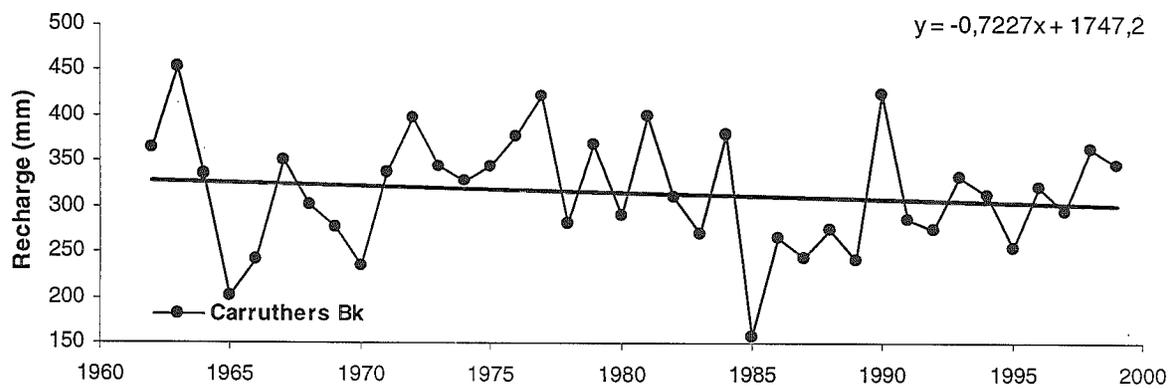
## Température moyenne annuelle



## Précipitation annuelle



## Recharge annuelle



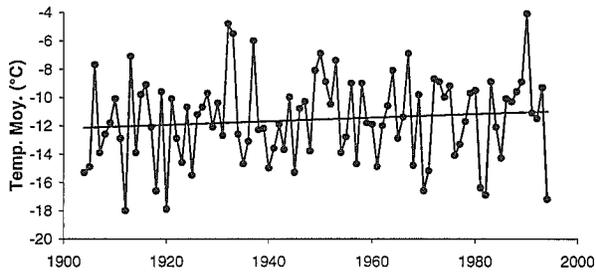
## **ANNEXE D**

**Régressions linéaires : tendances mensuelles visuelles pour les températures, les précipitations et la recharge pour la période complète**

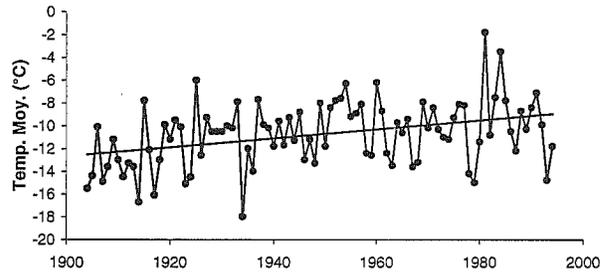


# Sherbrooke, Qc.

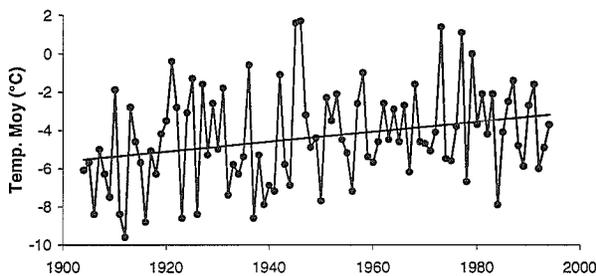
## Janv



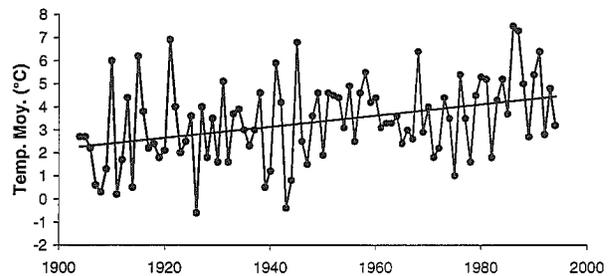
## Fév



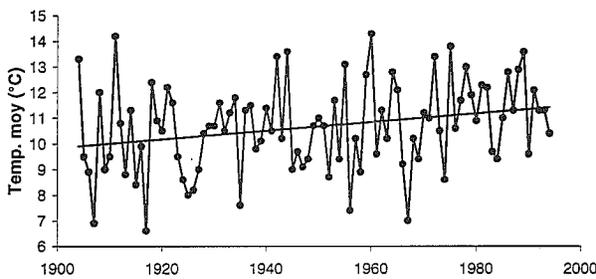
## Mars



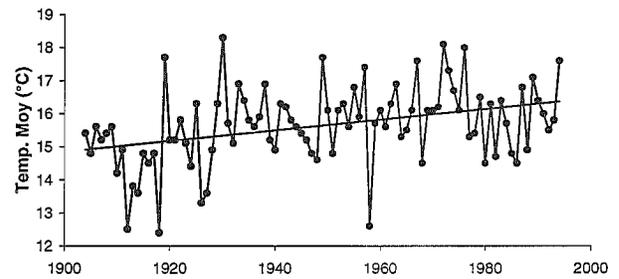
## Avril



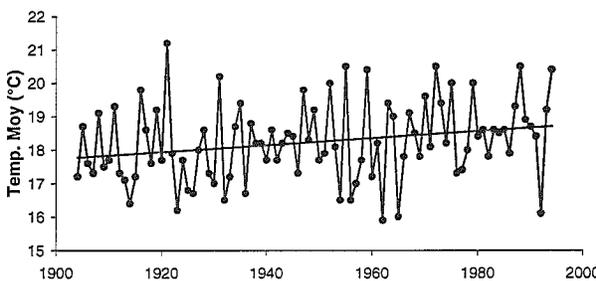
## Mai



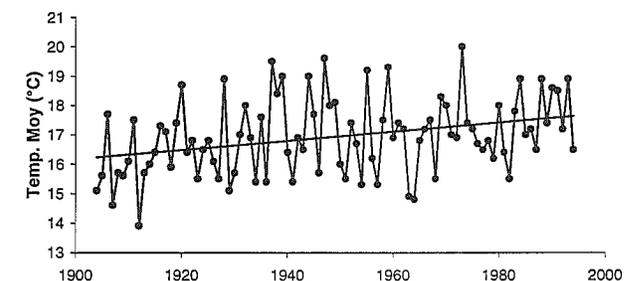
## Juin



## Juillet

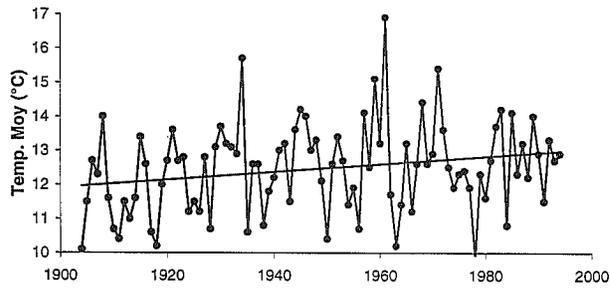


## Août

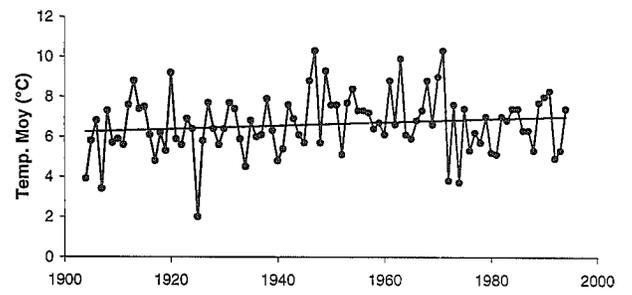


# Sherbrooke, Qc. (suite)

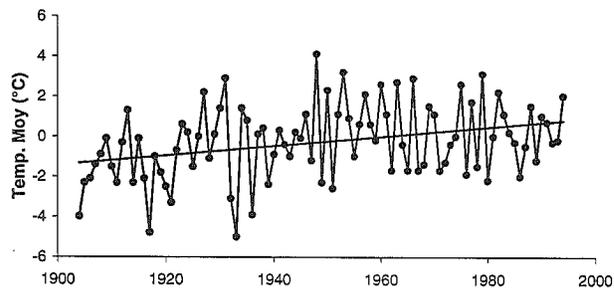
Sept.



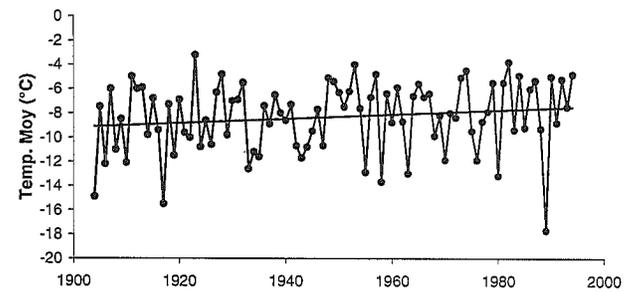
Oct.



Nov.

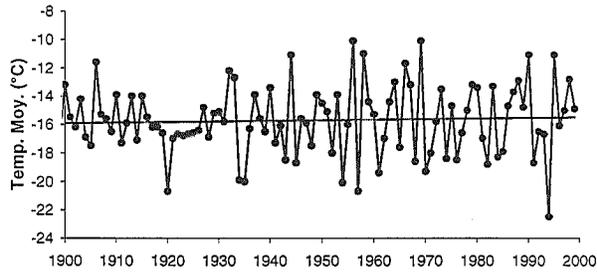


Déc.

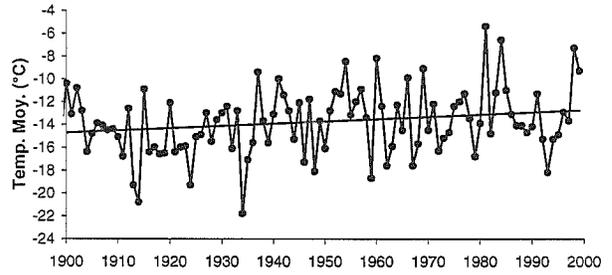


# Saguenay, Qc.

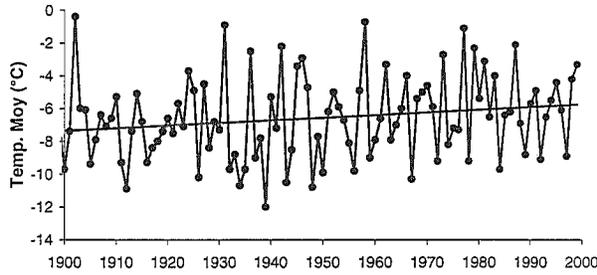
## Janv



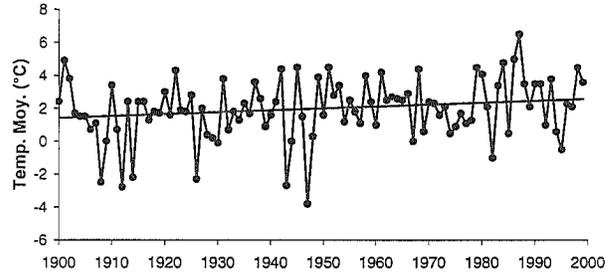
## Fév



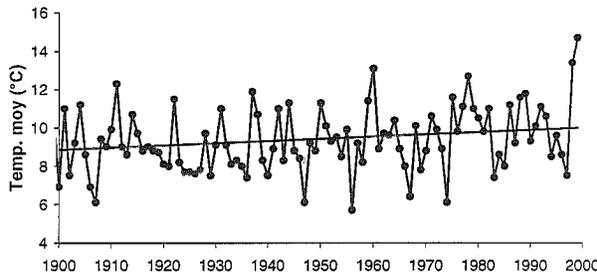
## Mars



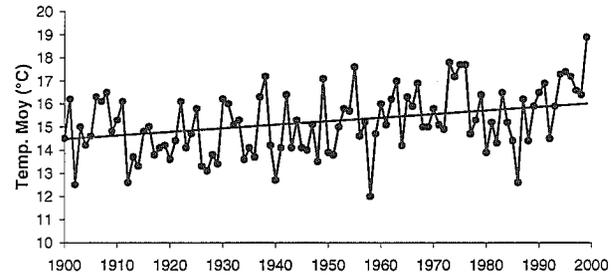
## Avril



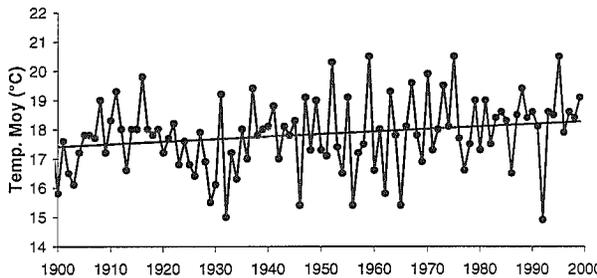
## Mai



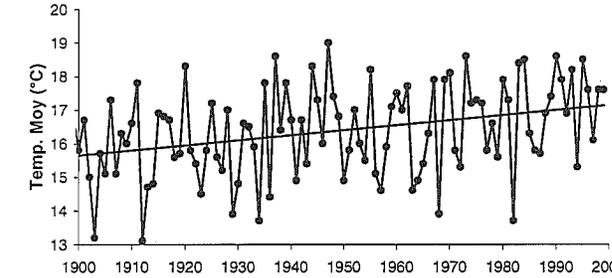
## Juin



## Juillet

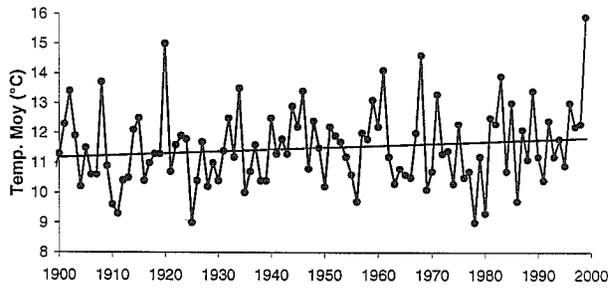


## Août

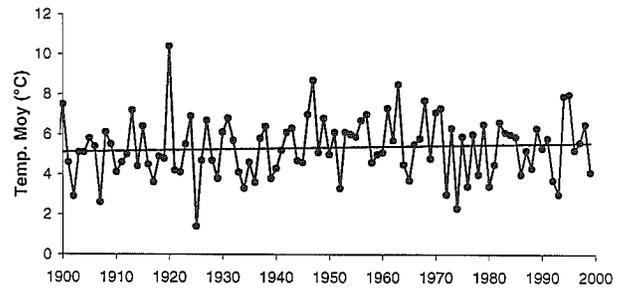


# Saguenay, Qc. (suite)

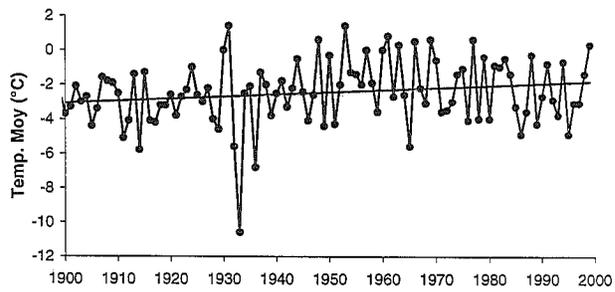
Sept.



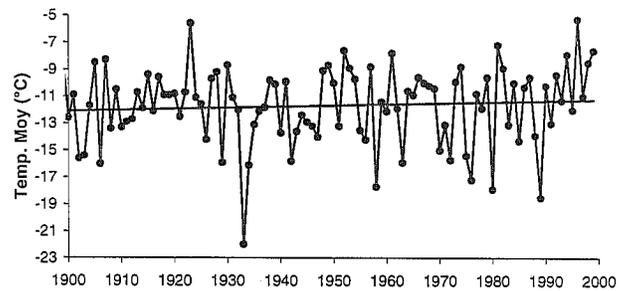
Oct.



Nov.

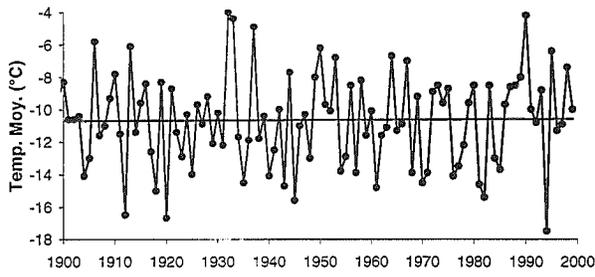


Déc.

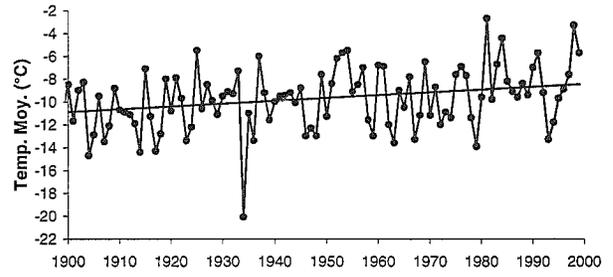


# Outaouais, Qc.

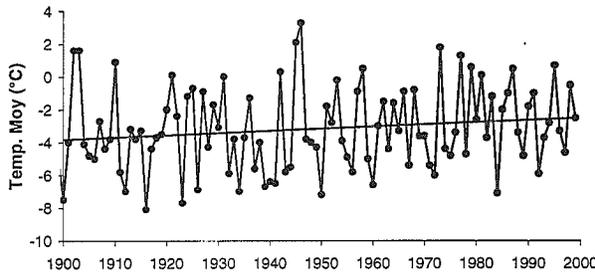
## Janv



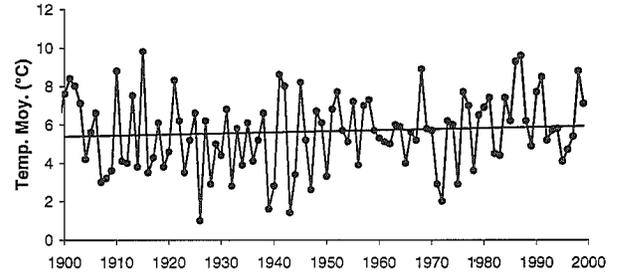
## Fév



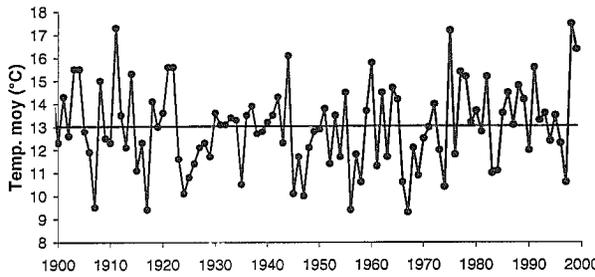
## Mars



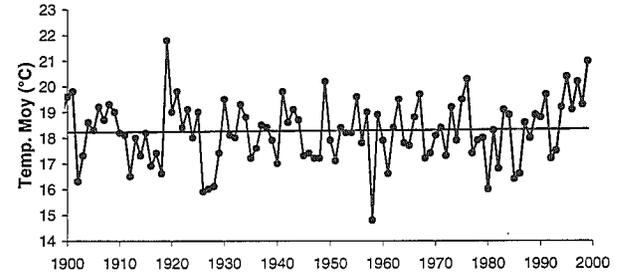
## Avril



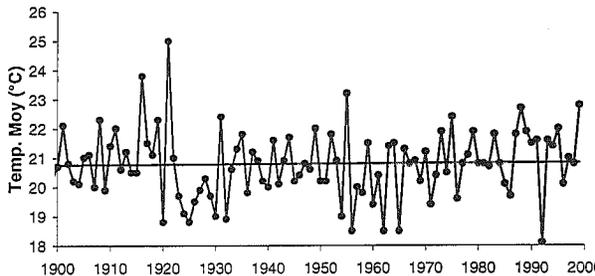
## Mai



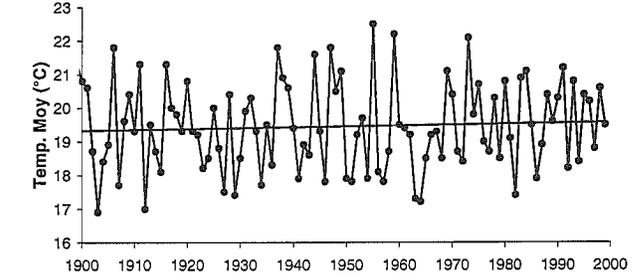
## Juin



## Juillet

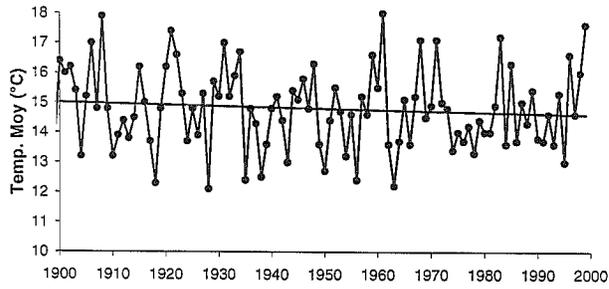


## Août

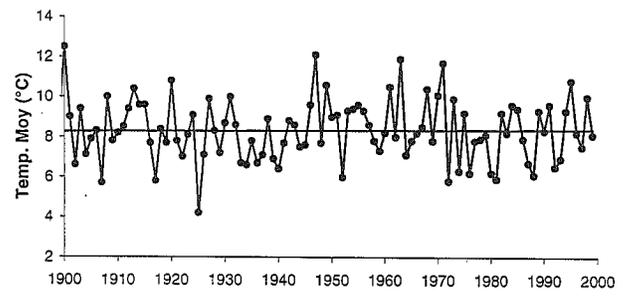


# Outaouais, Qc. (suite)

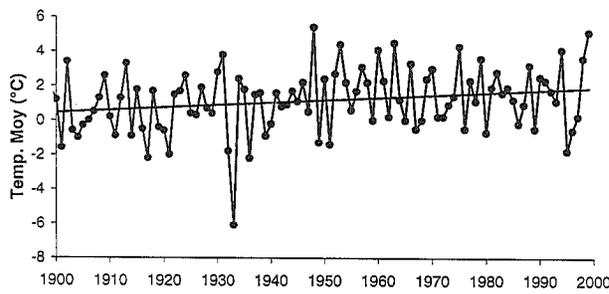
Sept.



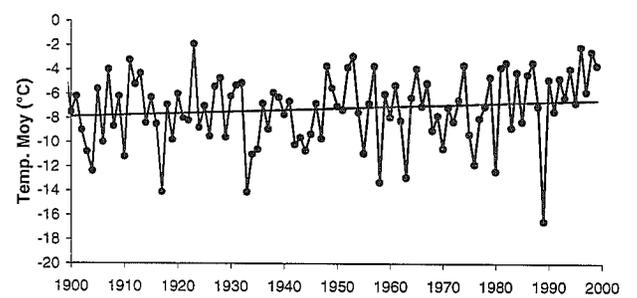
Oct.



Nov.

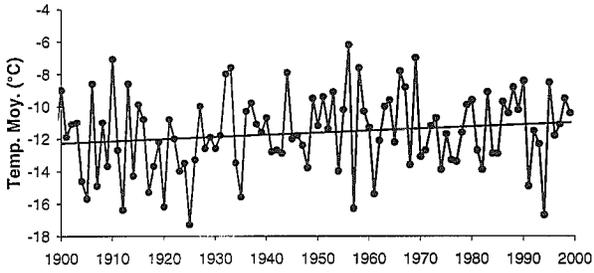


Déc.

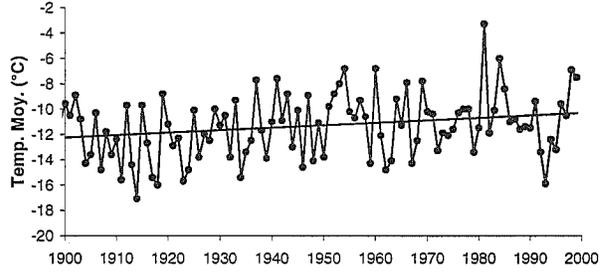


# Rimouski, Qc.

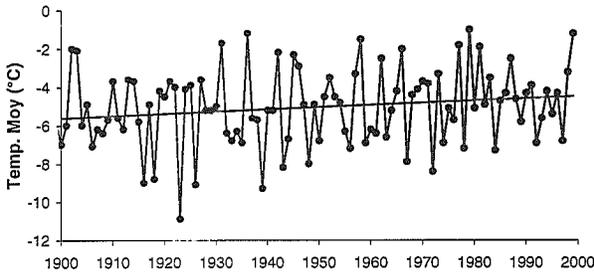
## Janv



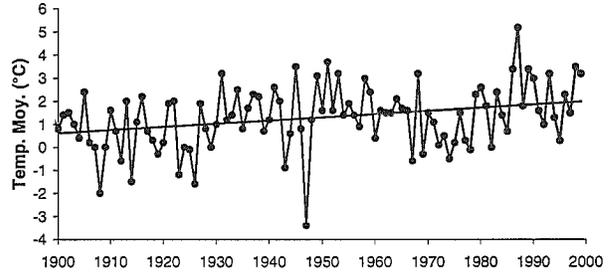
## Fév



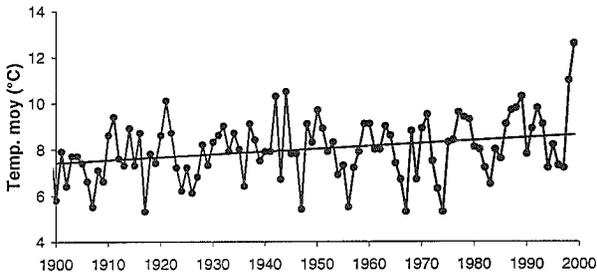
## Mars



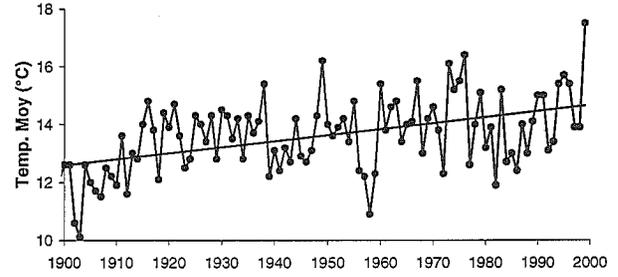
## Avril



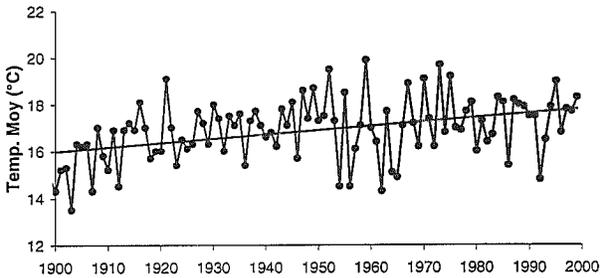
## Mai



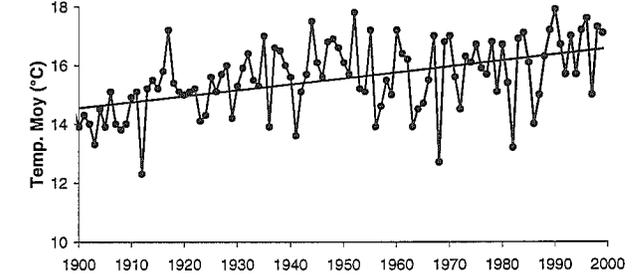
## Juin



## Juillet

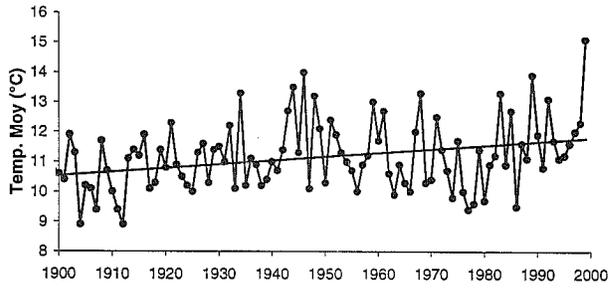


## Août

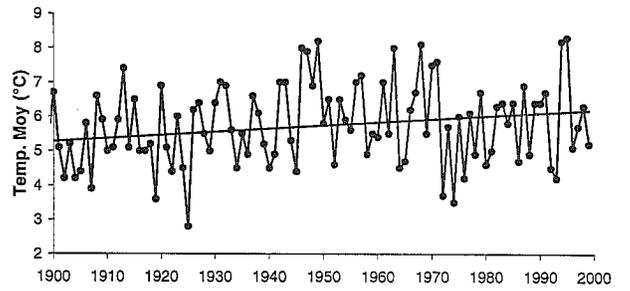


# Rimouski, Qc. (suite)

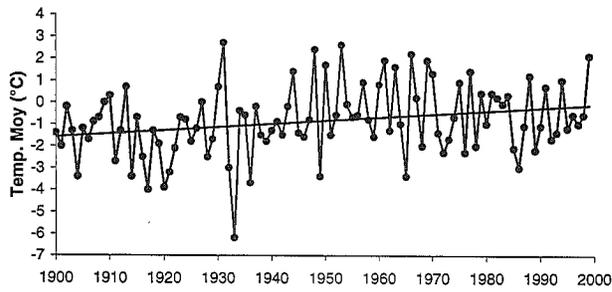
Sept.



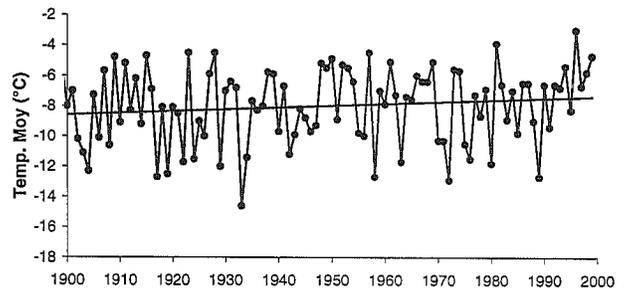
Oct.



Nov.

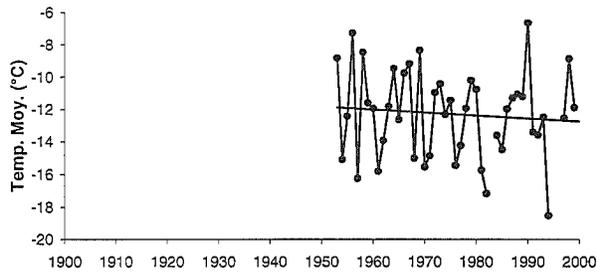


Déc.

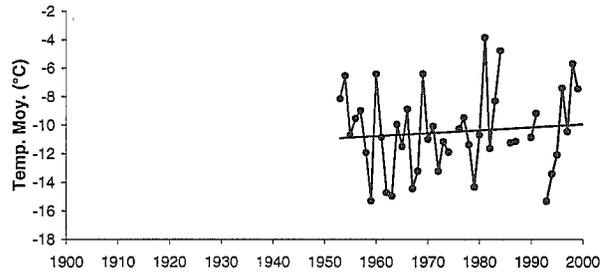


# Portneuf, Qc.

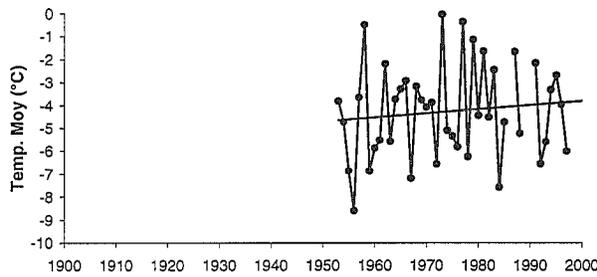
## Janv



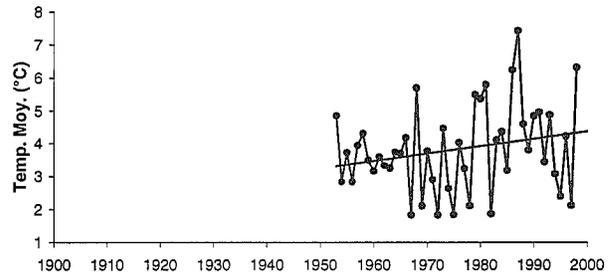
## Fév



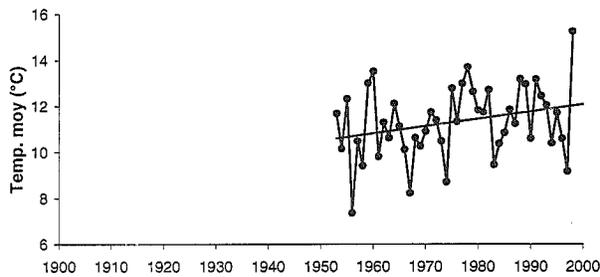
## Mars



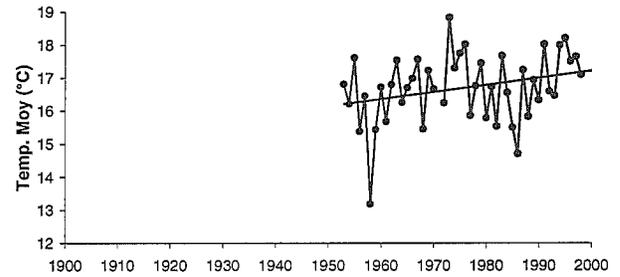
## Avril



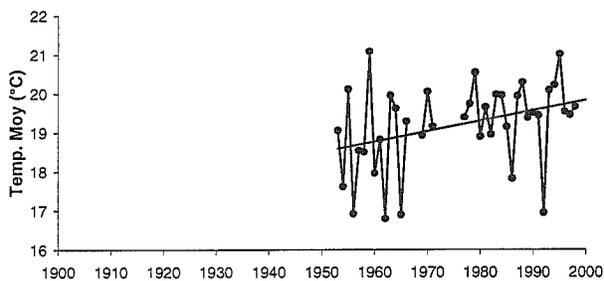
## Mai



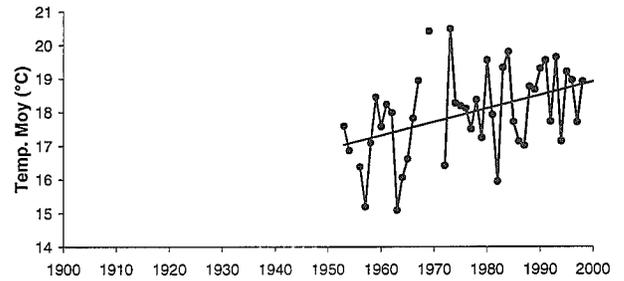
## Juin



## Juillet

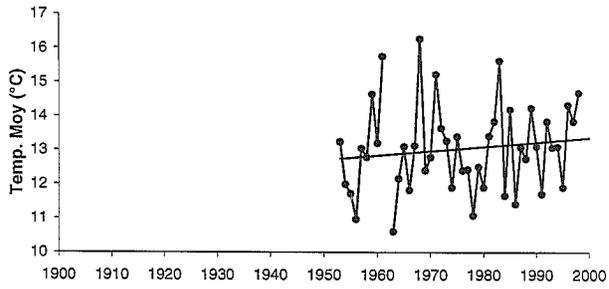


## Août

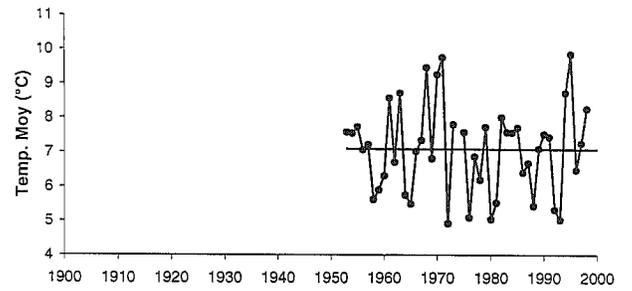


# Portneuf, Qc. (suite)

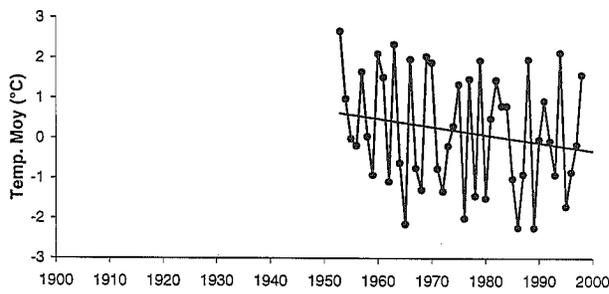
Sept.



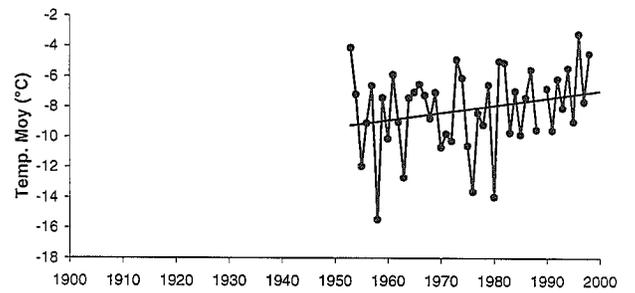
Oct.



Nov.

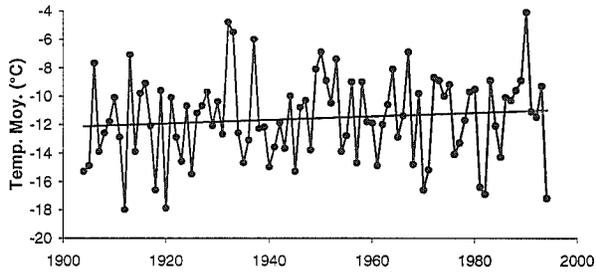


Déc.

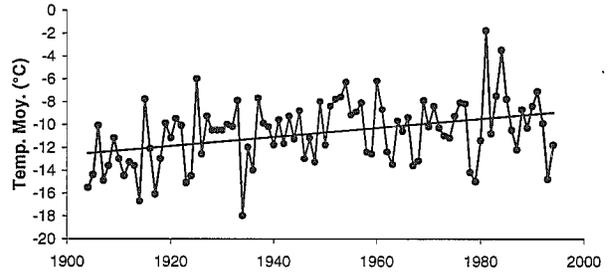


# Trois-Rivières, Qc.

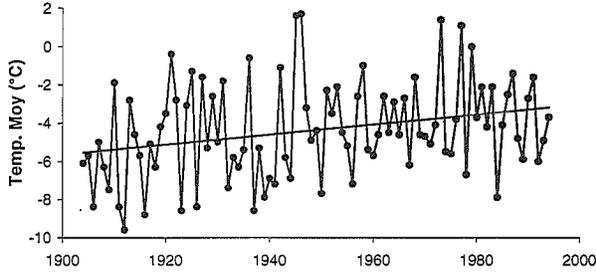
## Janv



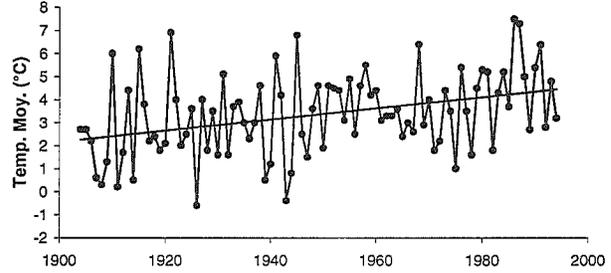
## Fév



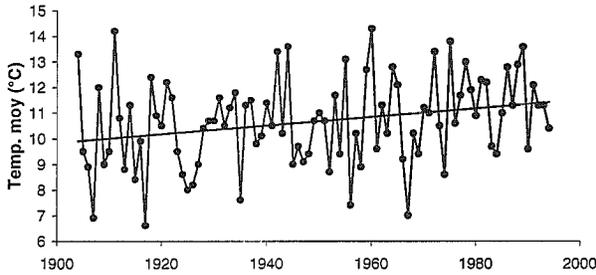
## Mars



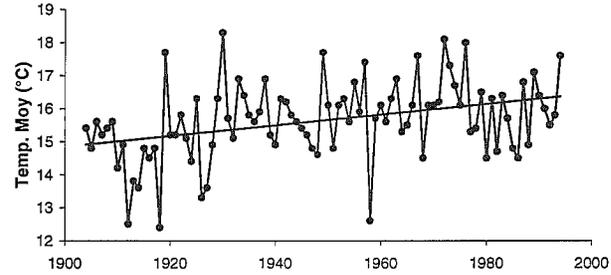
## Avril



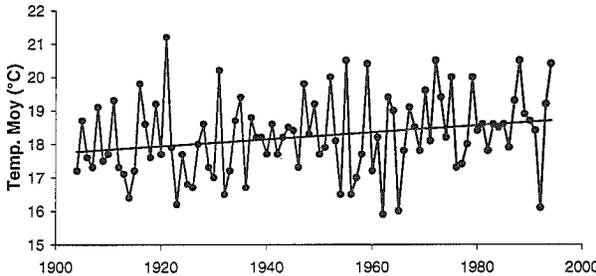
## Mai



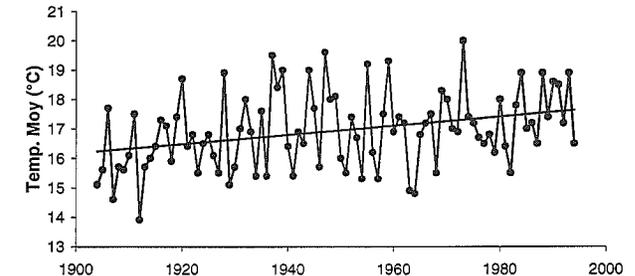
## Juin



## Juillet

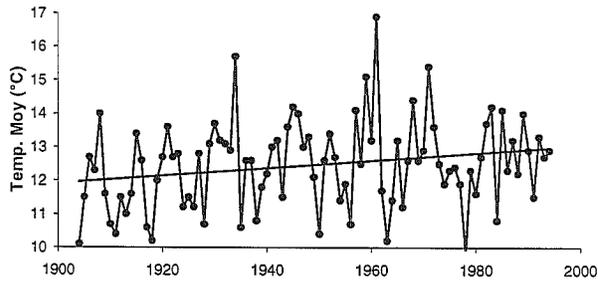


## Août

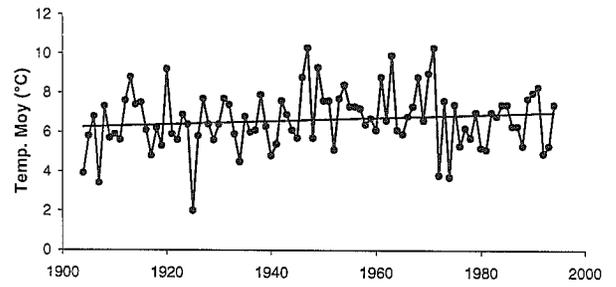


# Trois-Rivières, Qc. (suite)

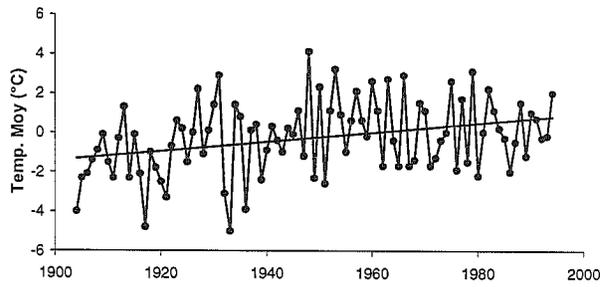
Sept.



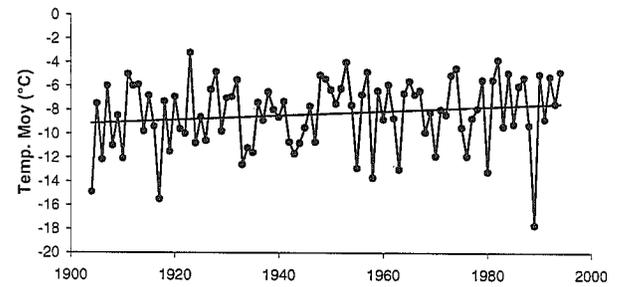
Oct.



Nov.

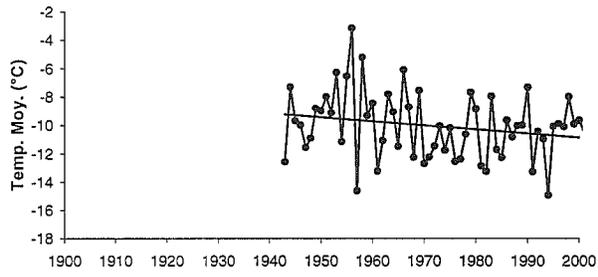


Déc.

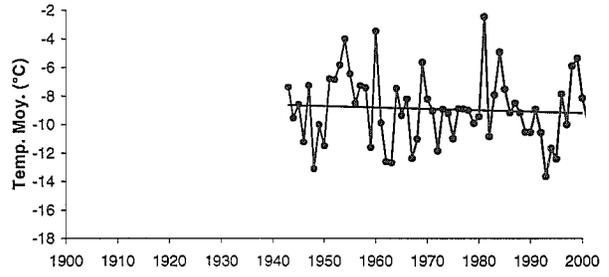


# Miramichi, N.-B.

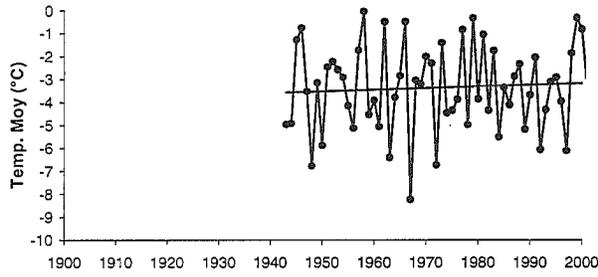
## Janv



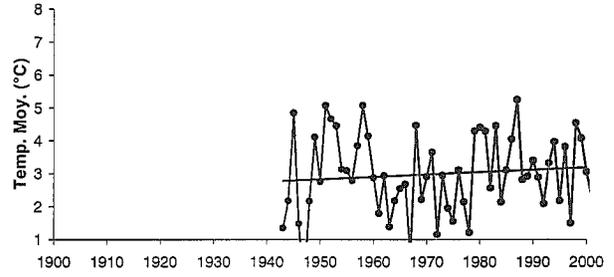
## Fév



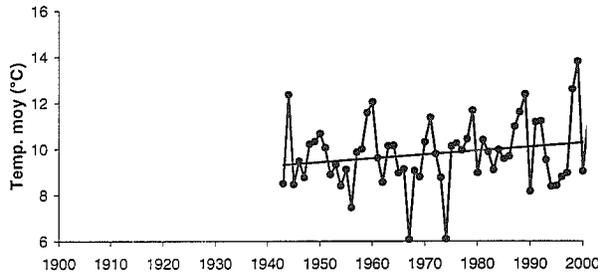
## Mars



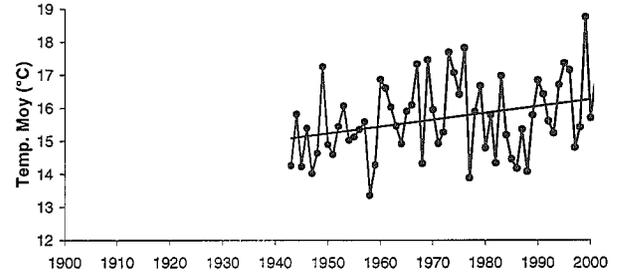
## Avril



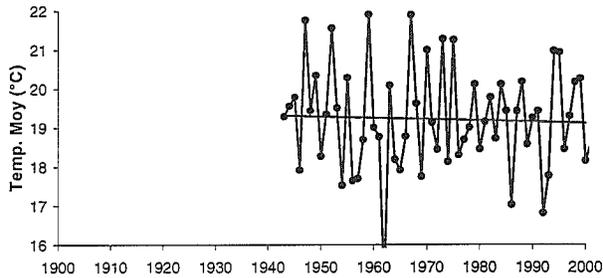
## Mai



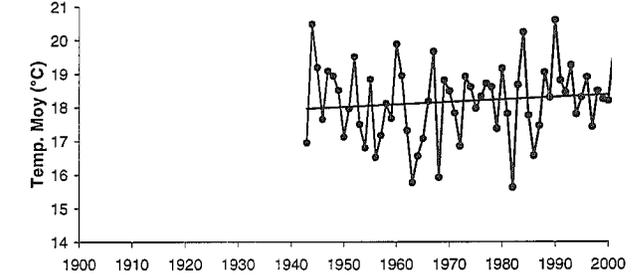
## Juin



## Juillet

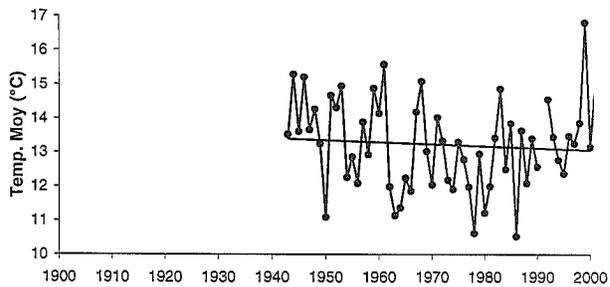


## Août

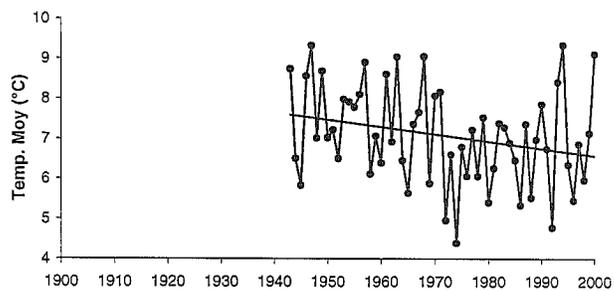


# Miramichi, N.-B. (suite)

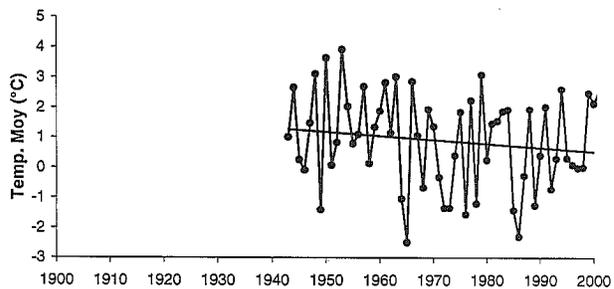
Sept.



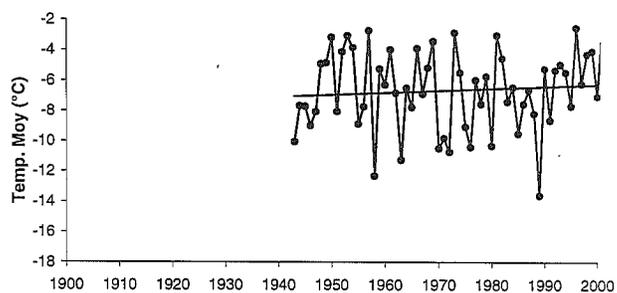
Oct.



Nov.

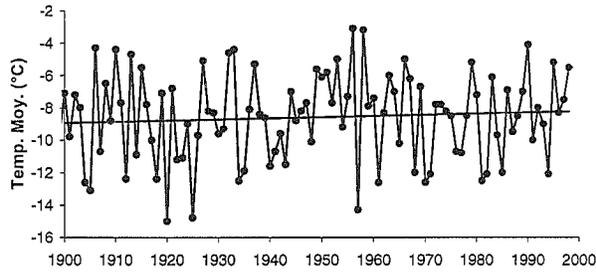


Déc.

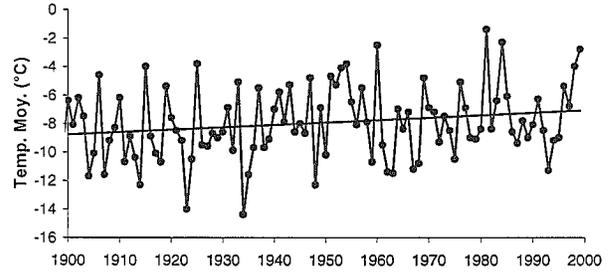


# Sussex, N.-B.

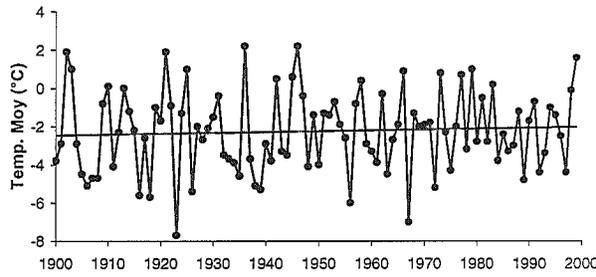
## Janv



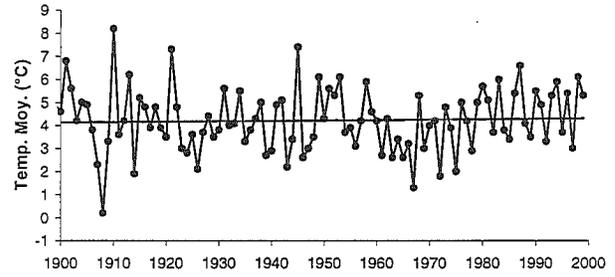
## Fév



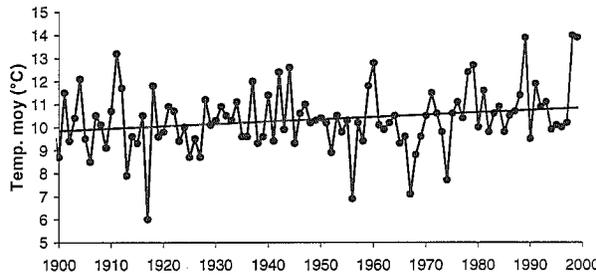
## Mars



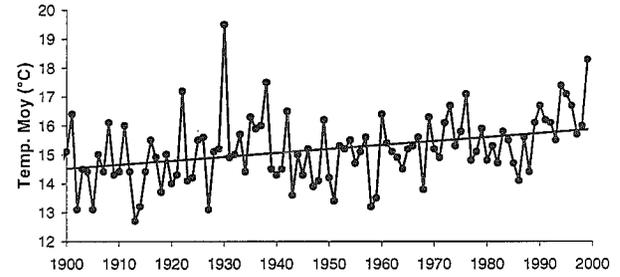
## Avril



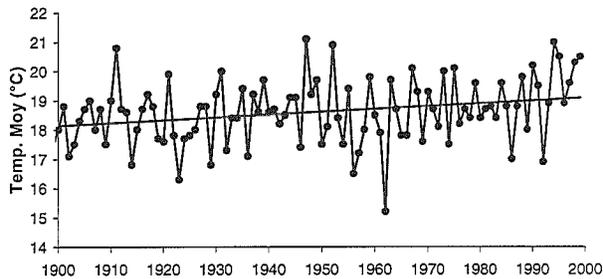
## Mai



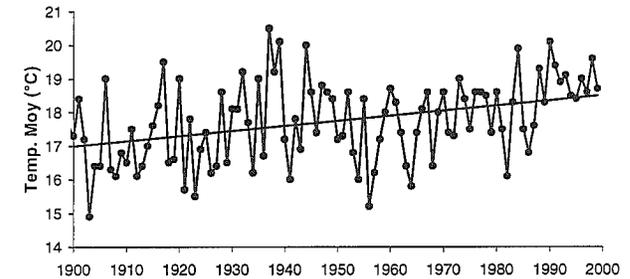
## Juin



## Juillet

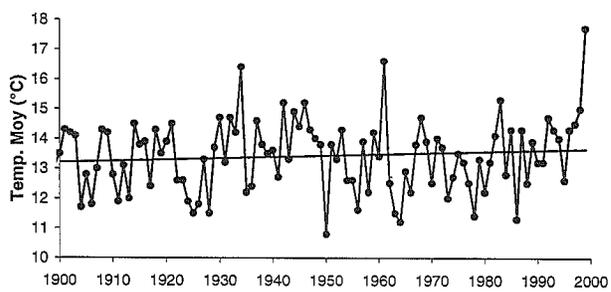


## Août

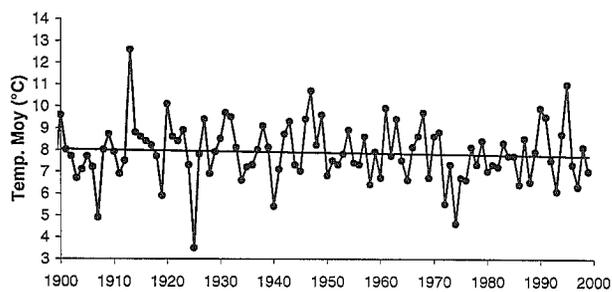


# Sussex, N.-B. (suite)

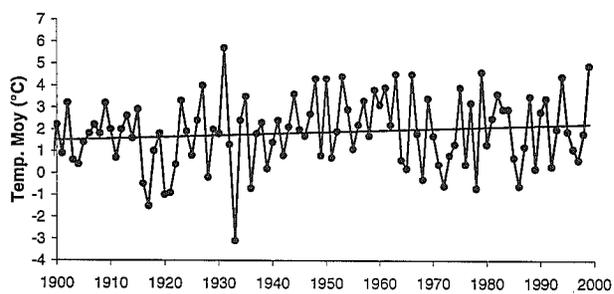
## Sept.



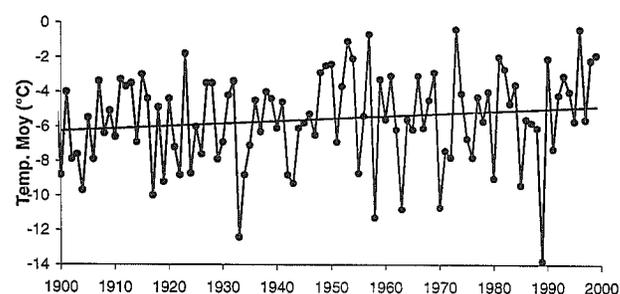
## Oct.



## Nov.

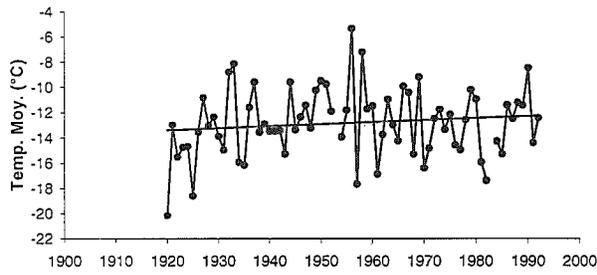


## Déc.

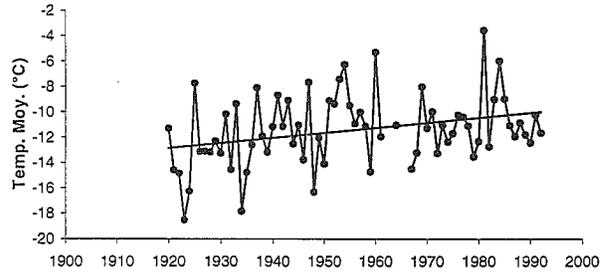


# Grand Falls, N.-B.

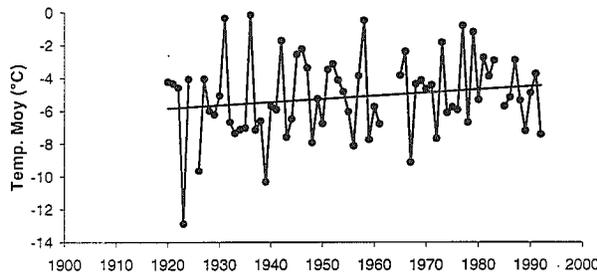
Janv



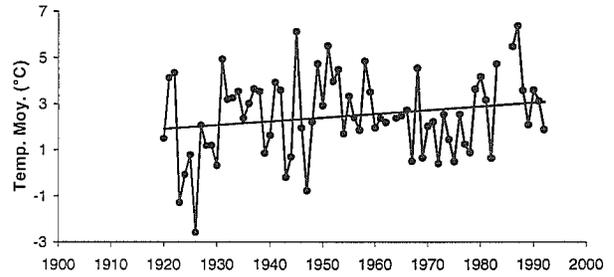
Fév



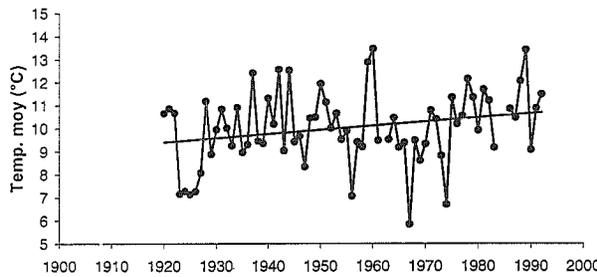
Mars



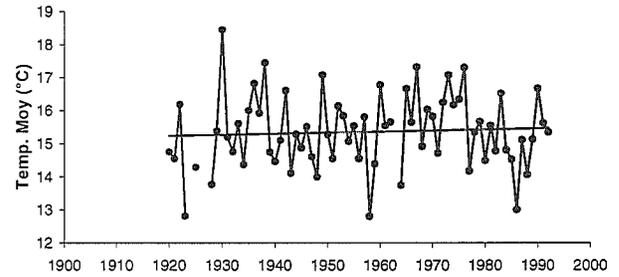
Avril



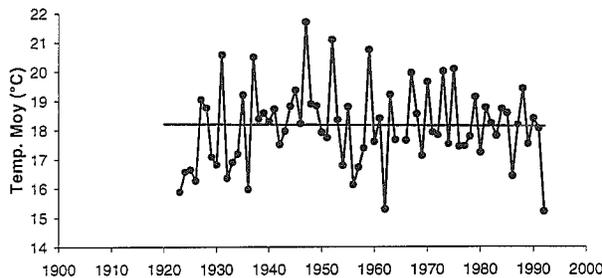
Mai



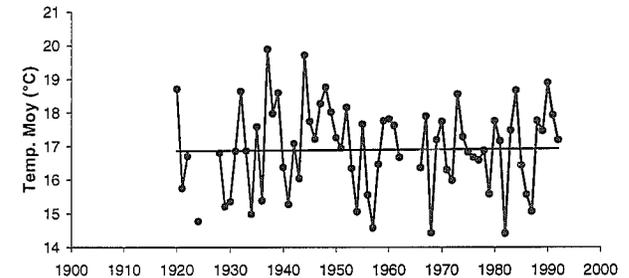
Juin



Juillet

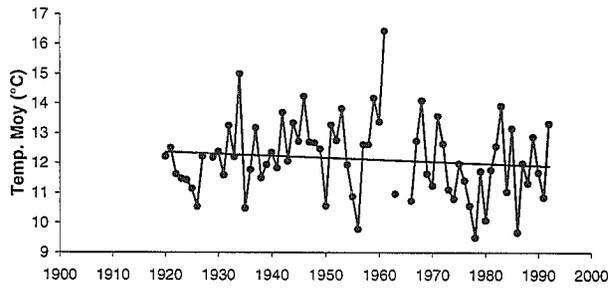


Août

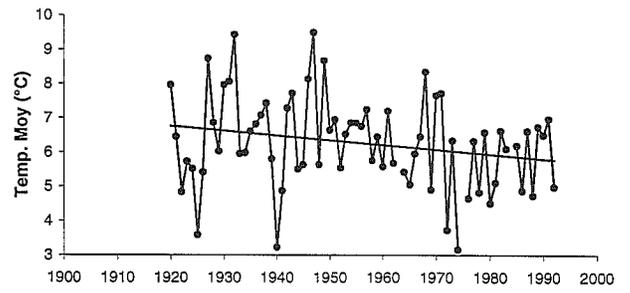


# Grand Falls, N.-B. (suite)

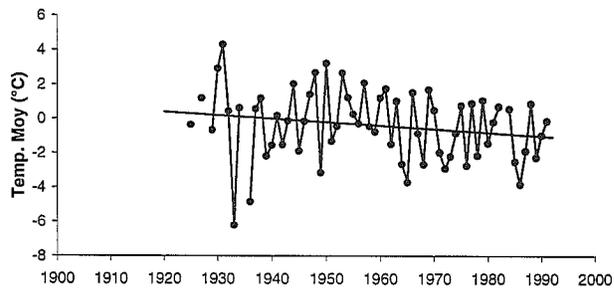
Sept.



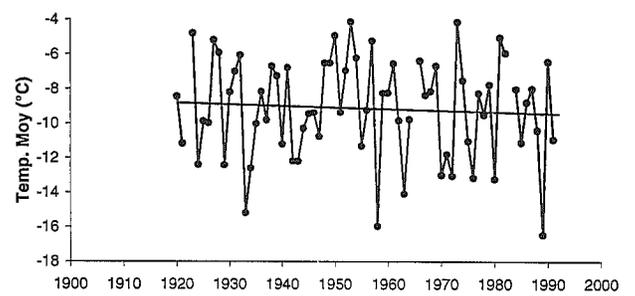
Oct.



Nov.

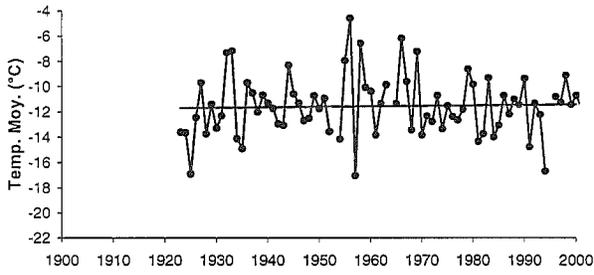


Déc.

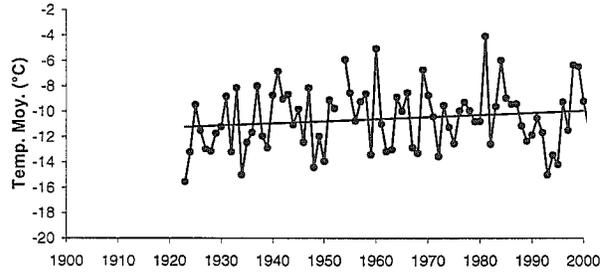


# Nepiseguit Falls, N.-B.

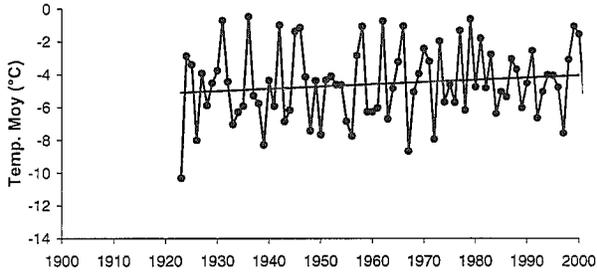
Janv



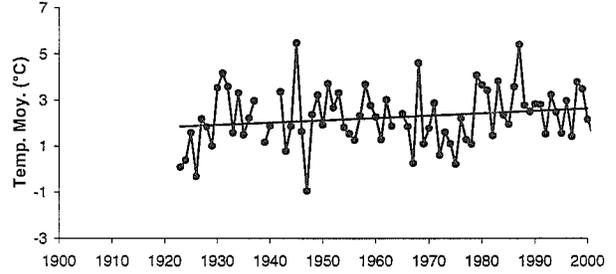
Fév



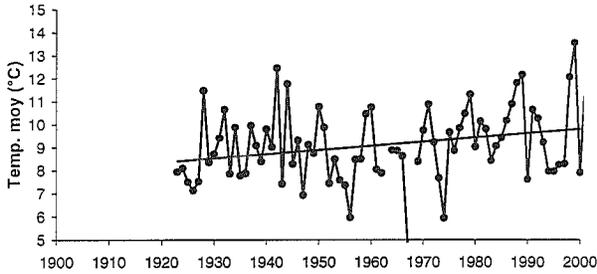
Mars



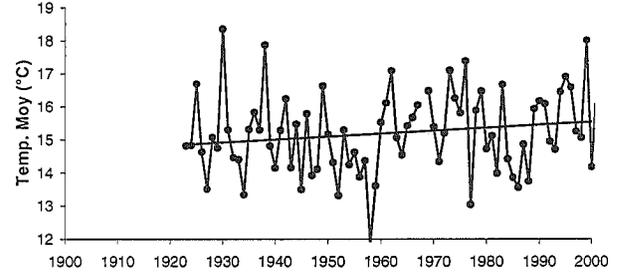
Avril



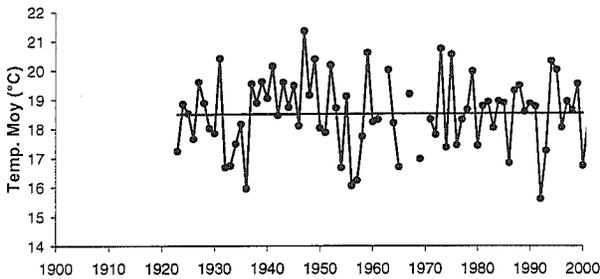
Mai



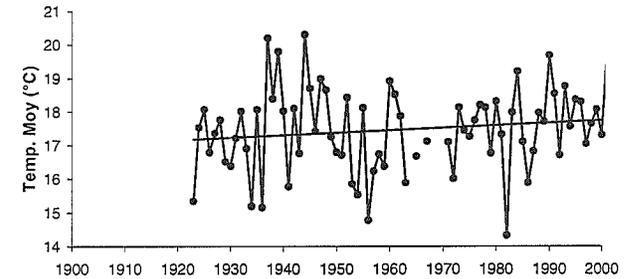
Juin



Juillet

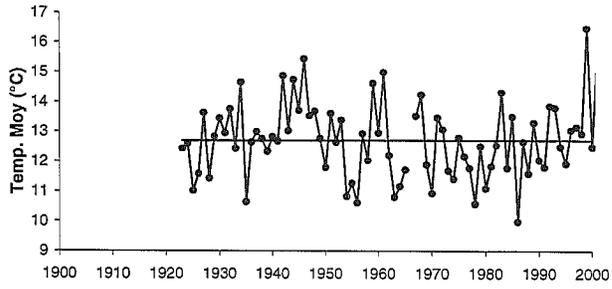


Août

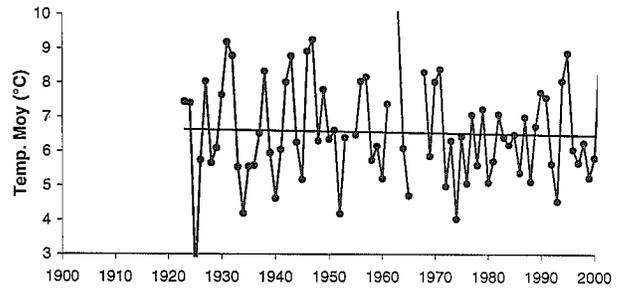


# Nepiseguit Falls, N.-B. (suite)

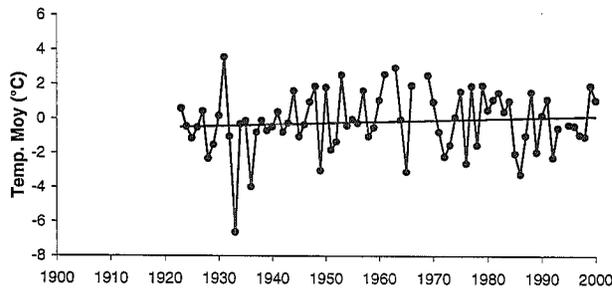
Sept.



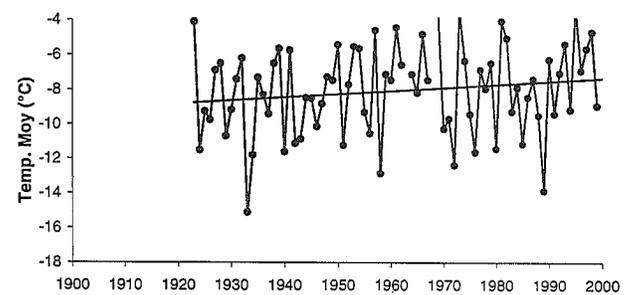
Oct.



Nov.

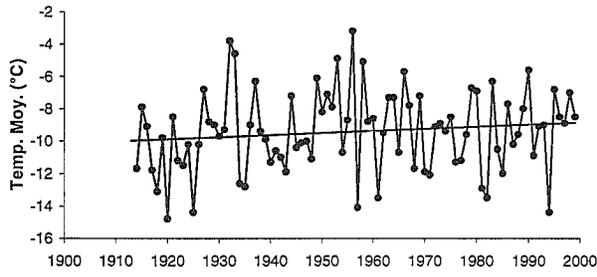


Déc.

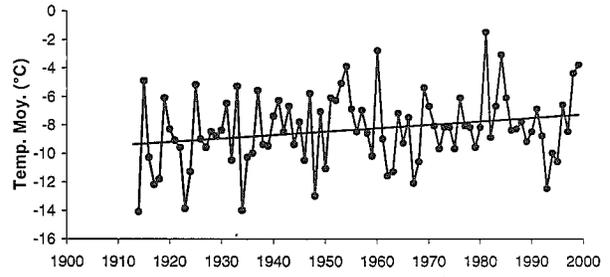


# Fredericton, N.-B.

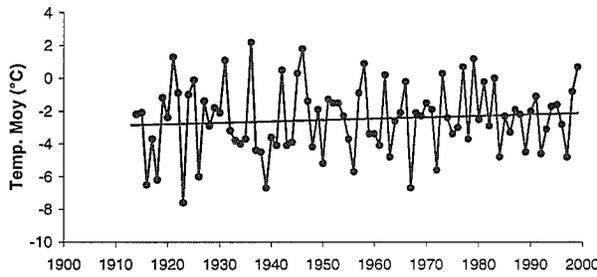
## Janv



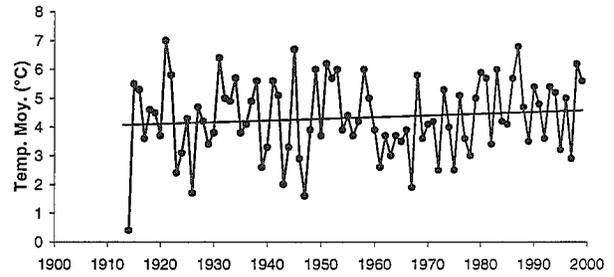
## Fév



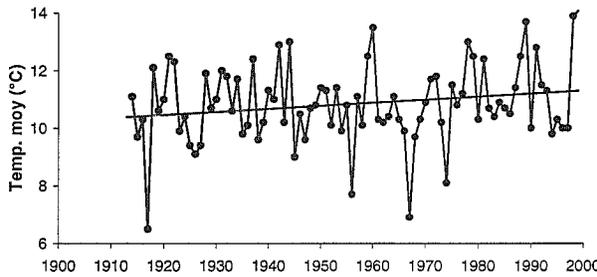
## Mars



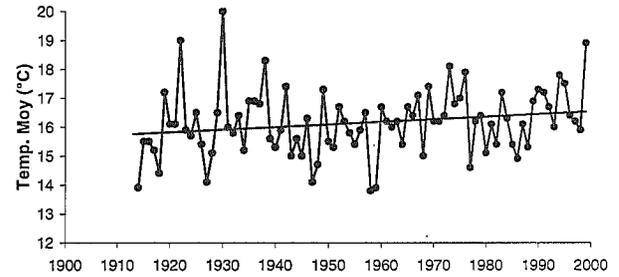
## Avril



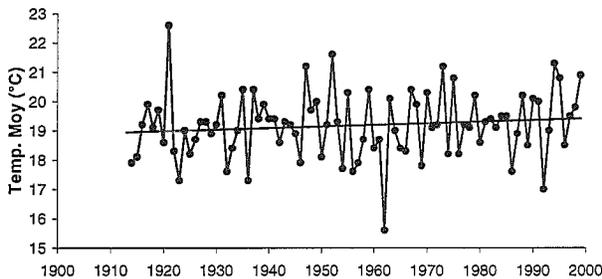
## Mai



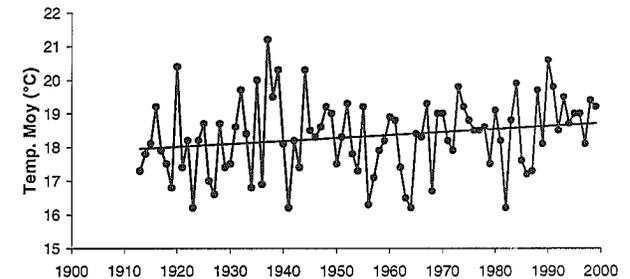
## Juin



## Juillet

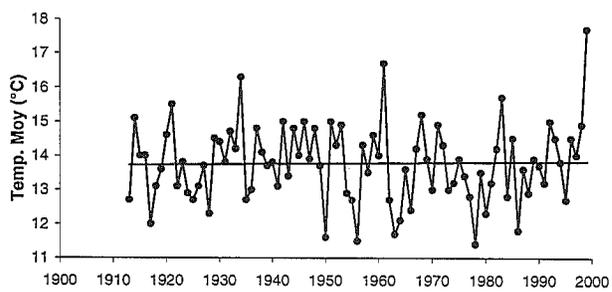


## Août

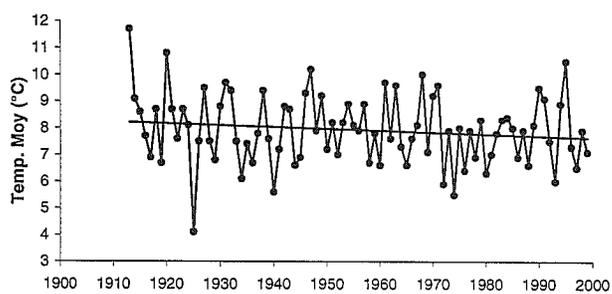


# Fredericton, N.-B. (suite)

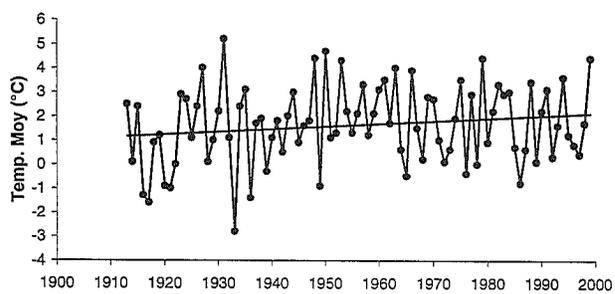
Sept.



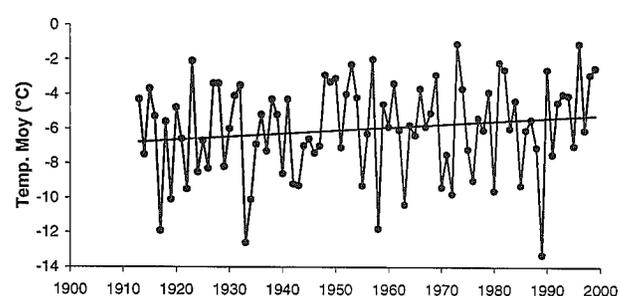
Oct.



Nov.

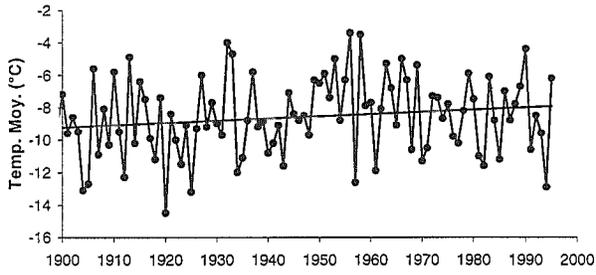


Déc.

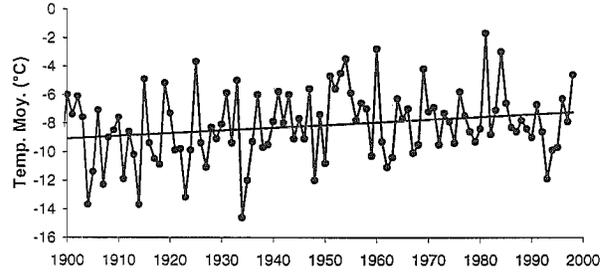


# Moncton, N.-B.

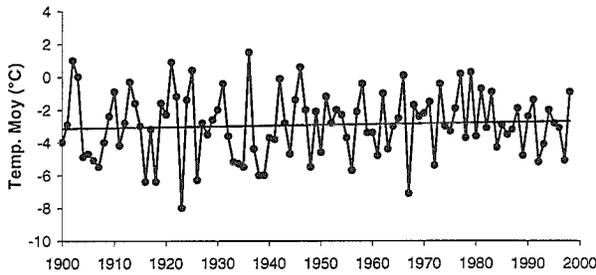
## Janv



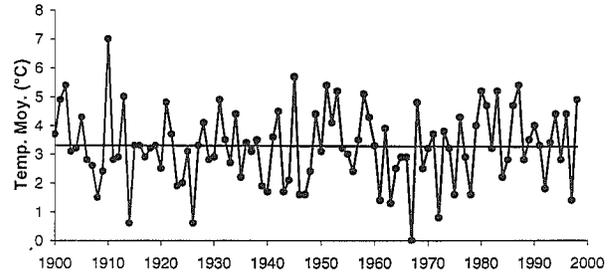
## Fév



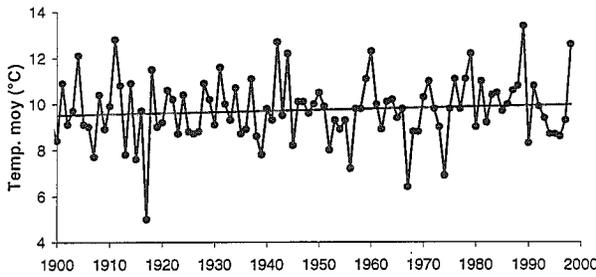
## Mars



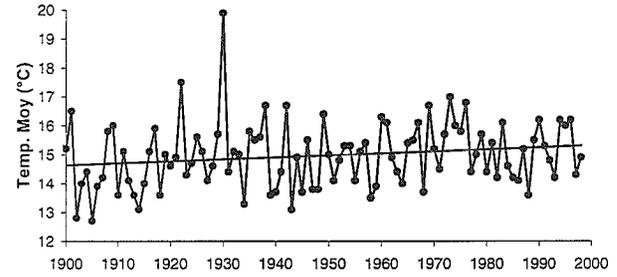
## Avril



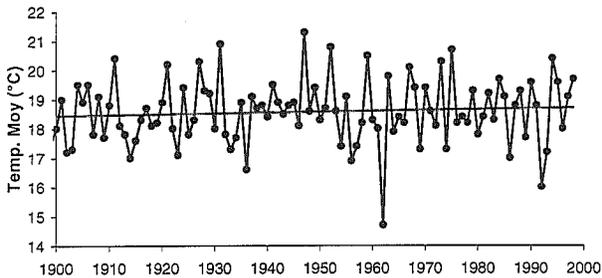
## Mai



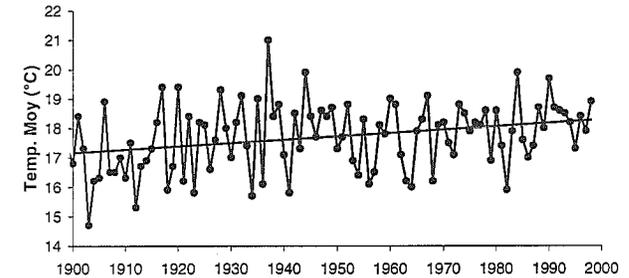
## Juin



## Juillet

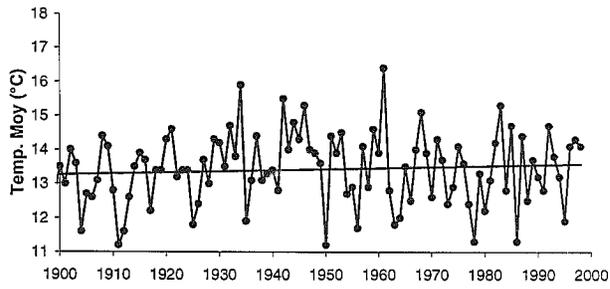


## Août

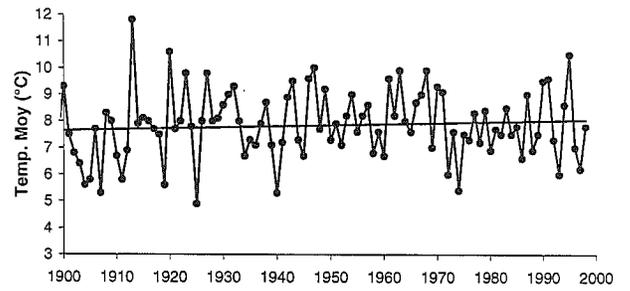


# Moncton, N.-B. (suite)

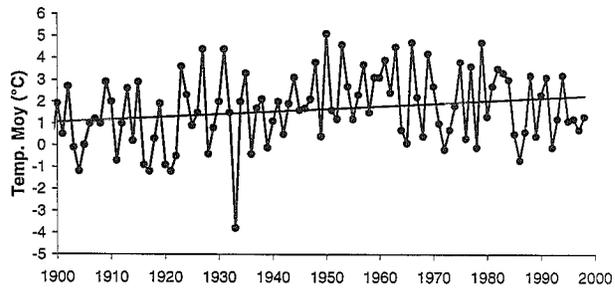
Sept.



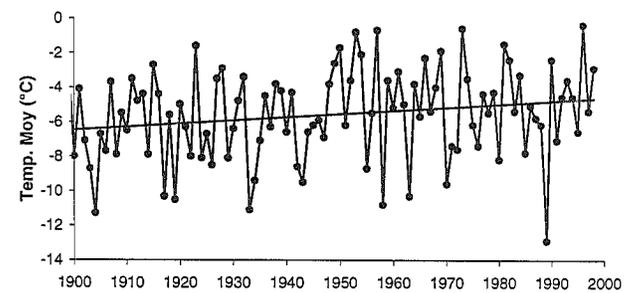
Oct.



Nov.

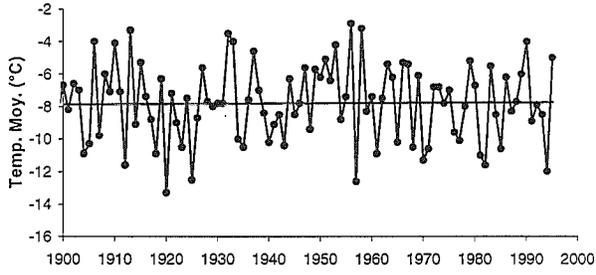


Déc.

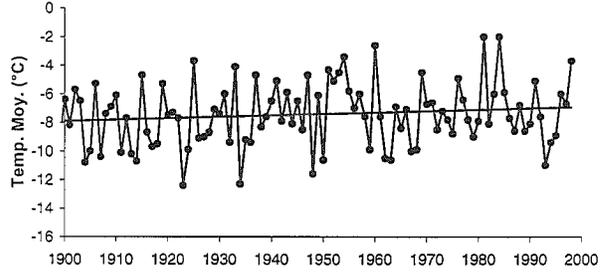


# St-John, N.-B.

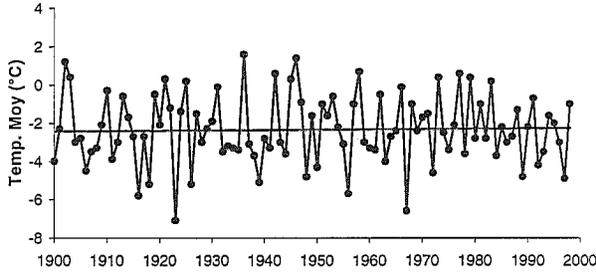
## Janv



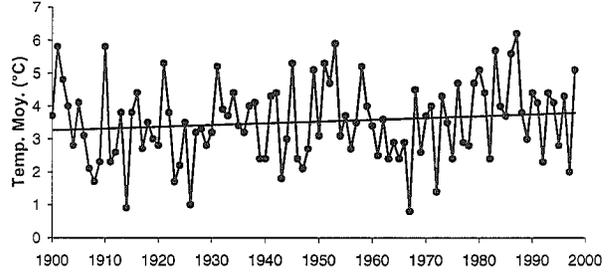
## Fév



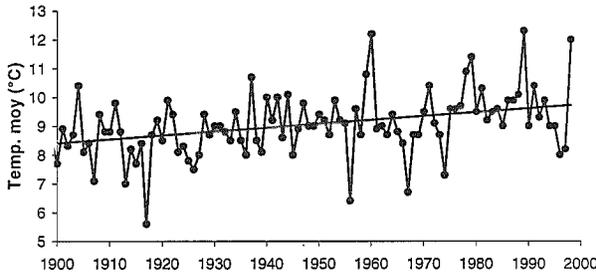
## Mars



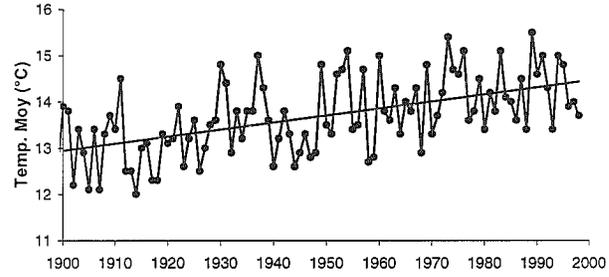
## Avril



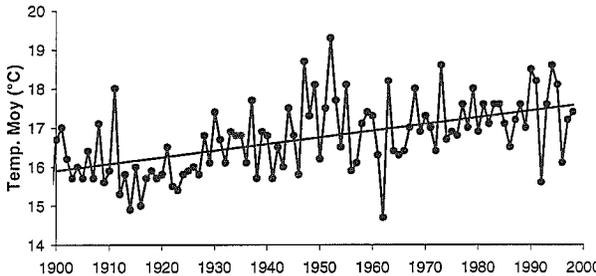
## Mai



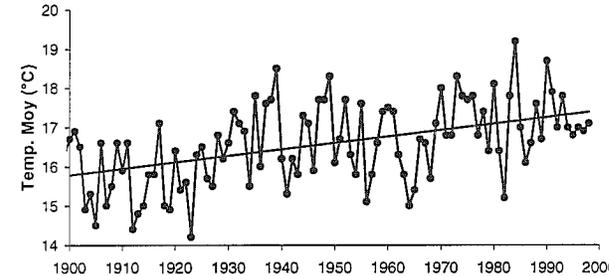
## Juin



## Juillet

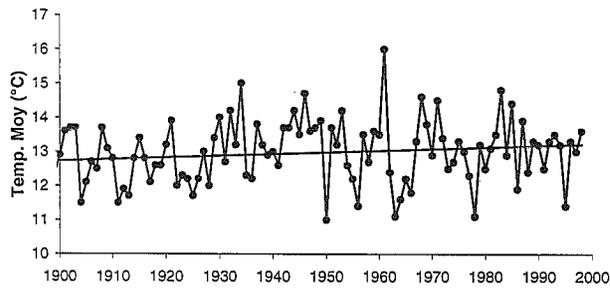


## Août

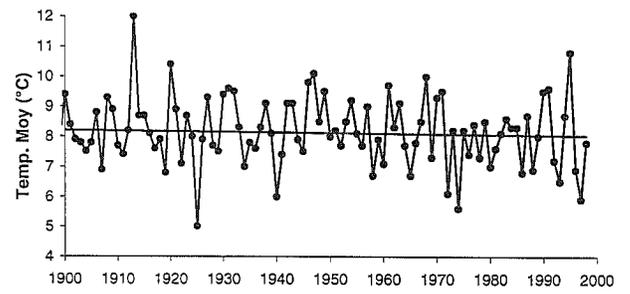


# St-John, N.-B. (suite)

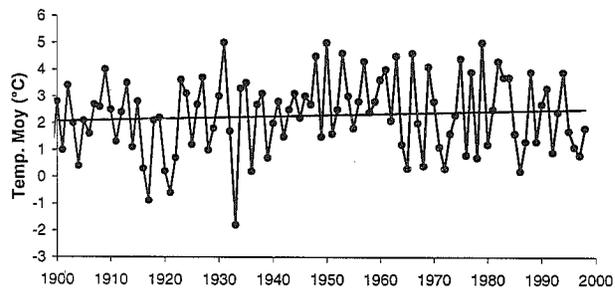
Sept.



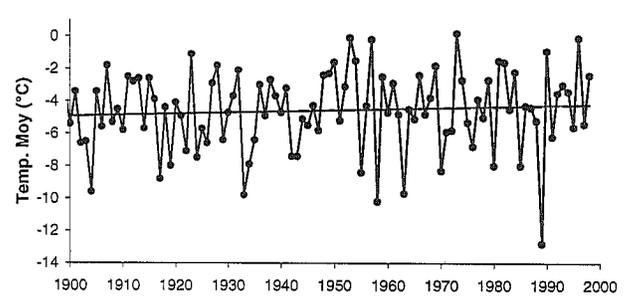
Oct.



Nov.

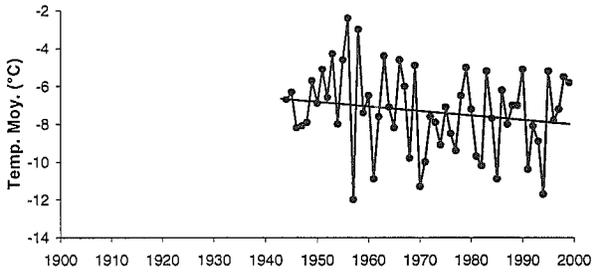


Déc.

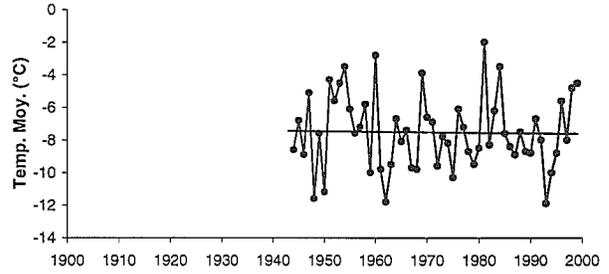


# Bangor, I.-P.-É.

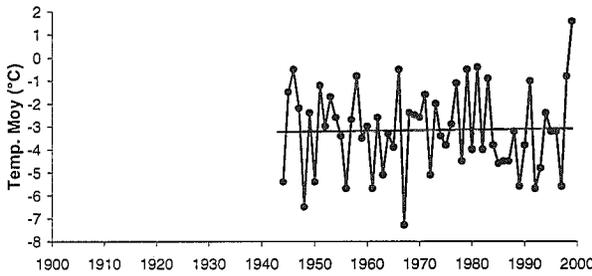
Janv



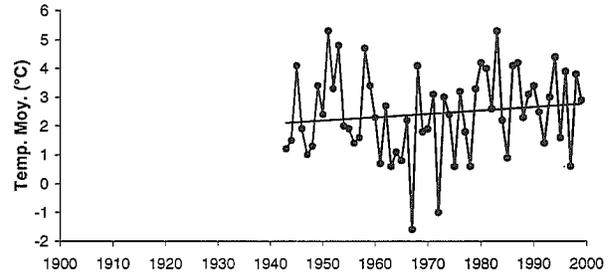
Fév



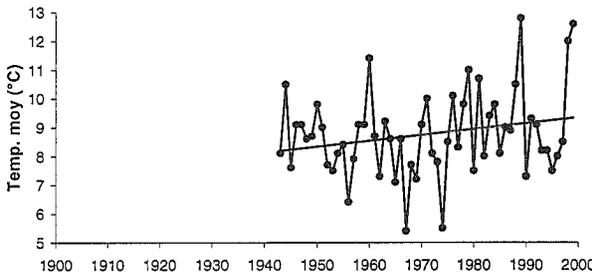
Mars



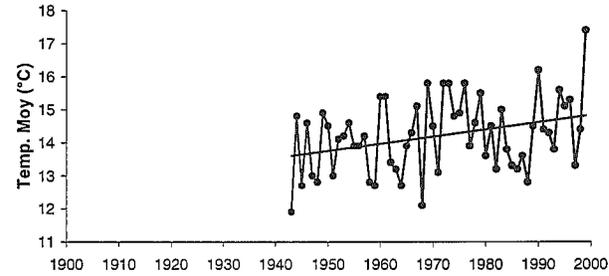
Avril



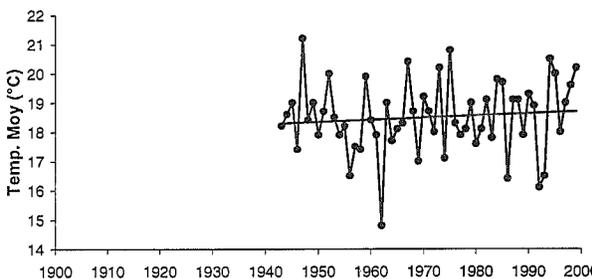
Mai



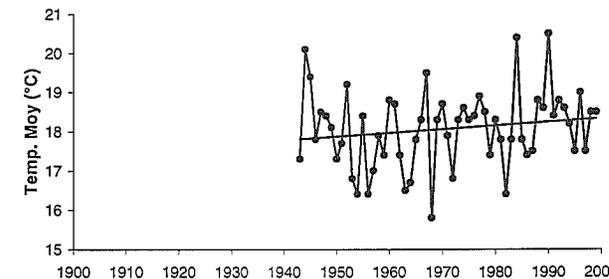
Juin



Juillet

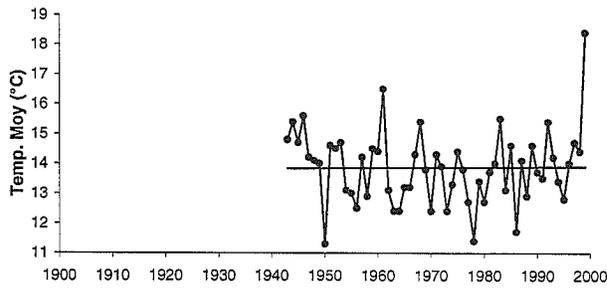


Août

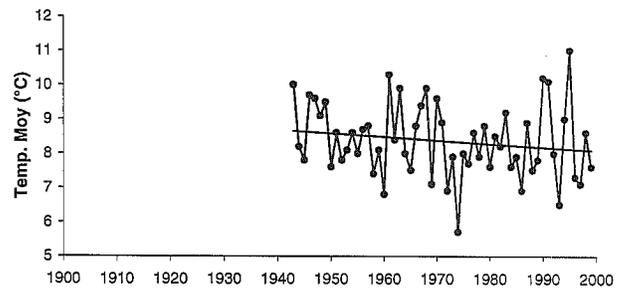


# Bangor, I.-P.-É. (suite)

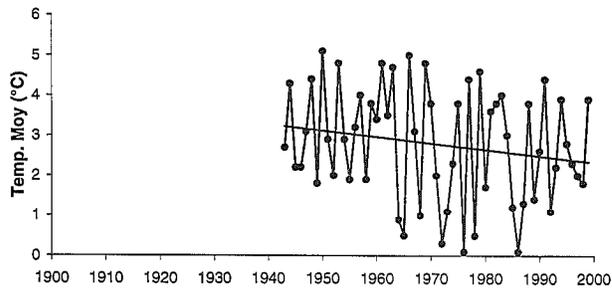
Sept.



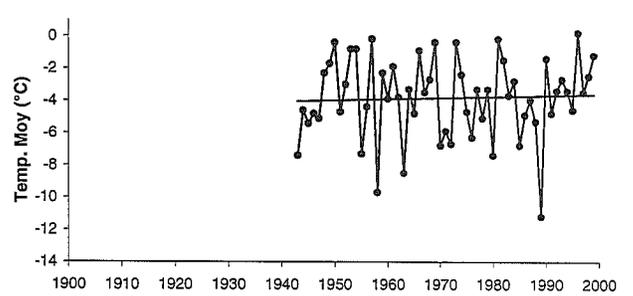
Oct.



Nov.

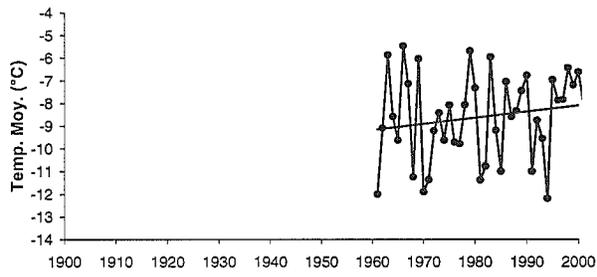


Déc.

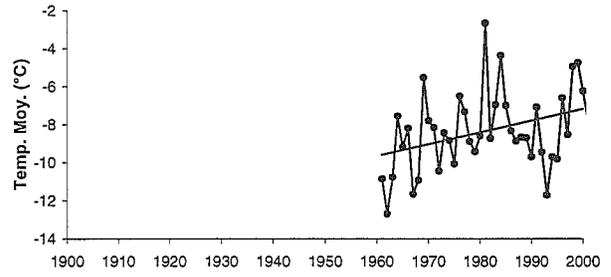


# O'Leary, I.-P.-É.

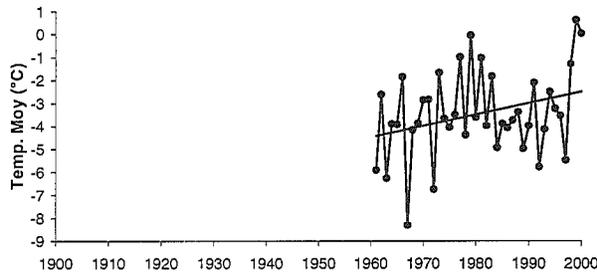
Janv



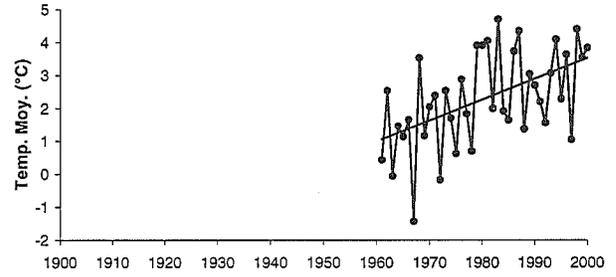
Fév



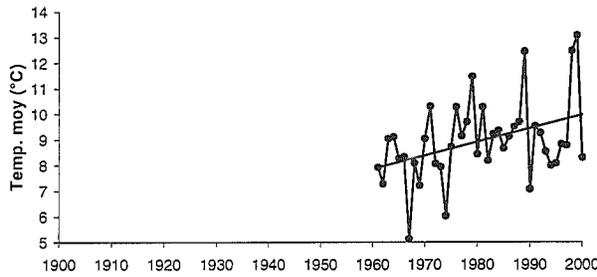
Mars



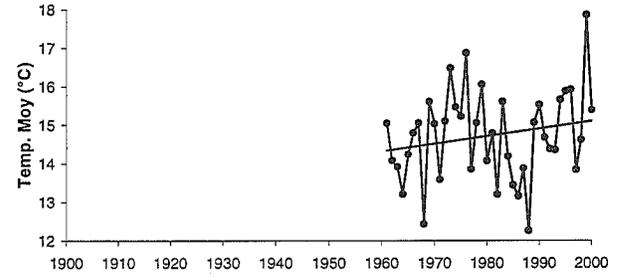
Avril



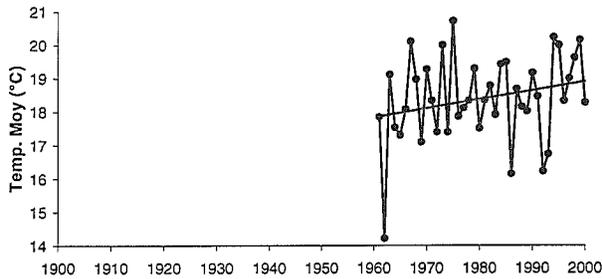
Mai



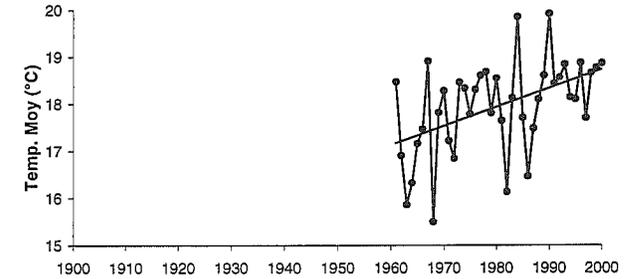
Juin



Juillet

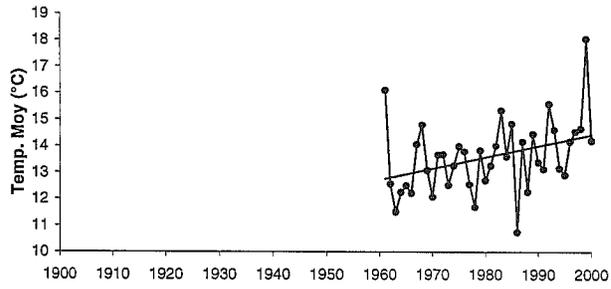


Août

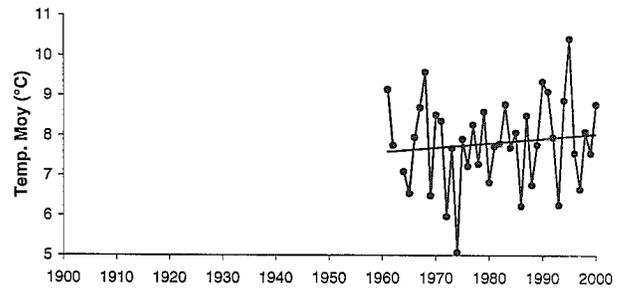


# O'Leary, I.-P.-É. (suite)

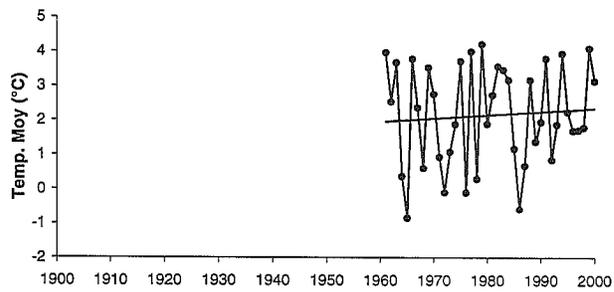
Sept.



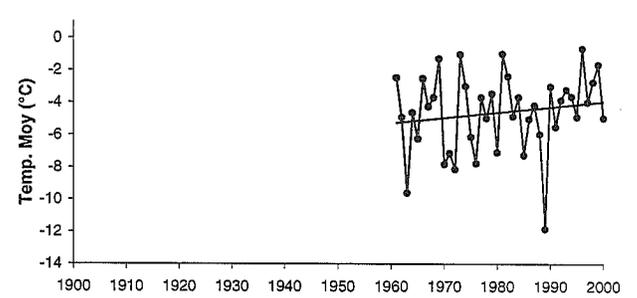
Oct.



Nov.

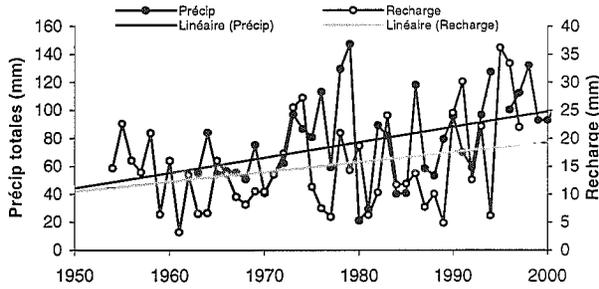


Déc.

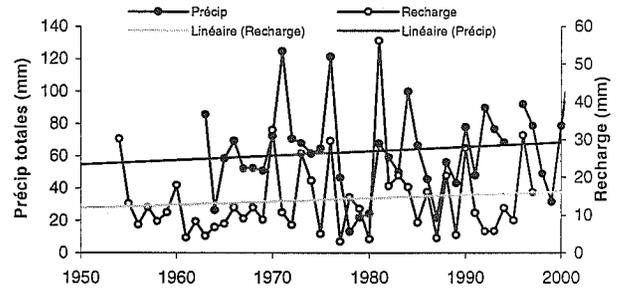


# Sherbrooke, Qc

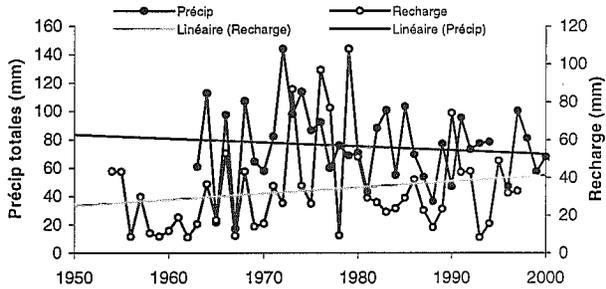
Janv.



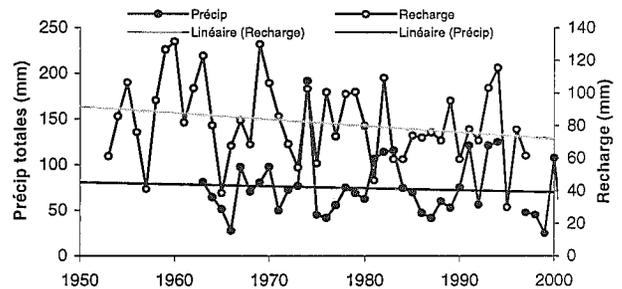
Fév.



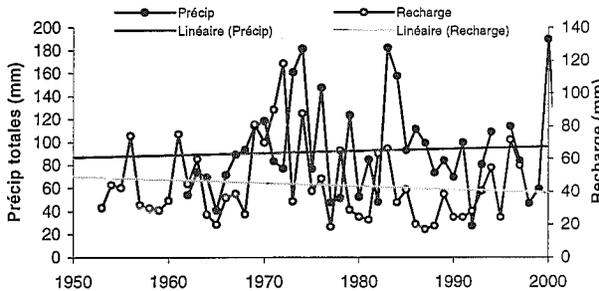
Mars



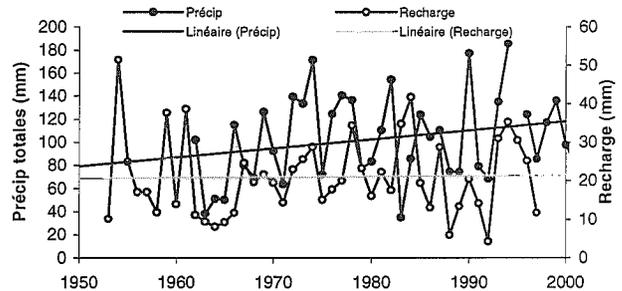
Avril



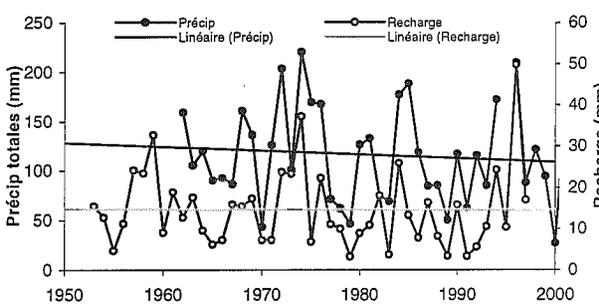
Mai



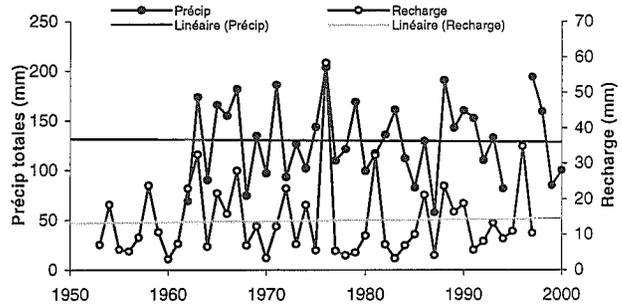
Juin



Juill.

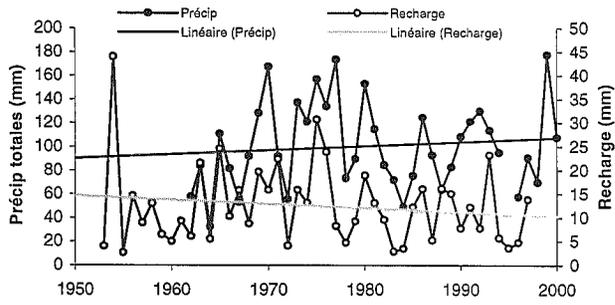


Août

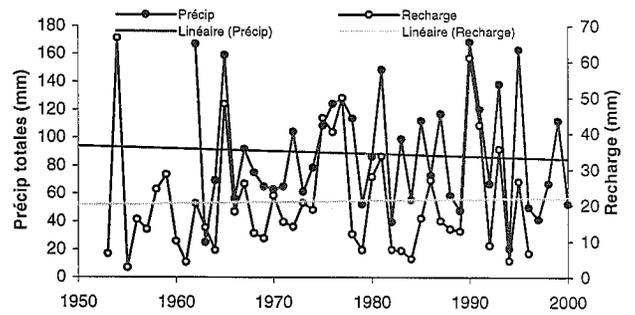


# Sherbrooke, Qc (suite)

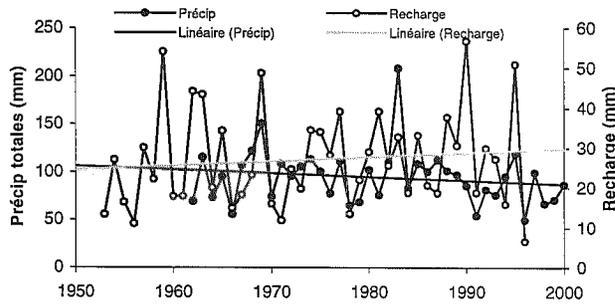
Sept.



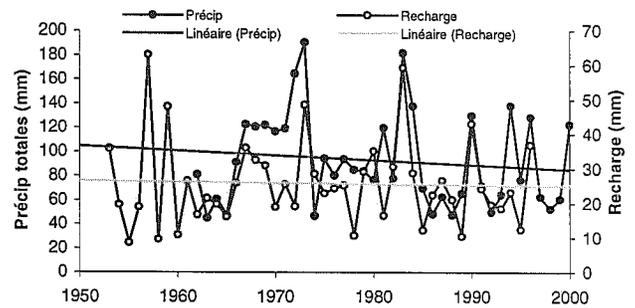
Oct.



Nov.

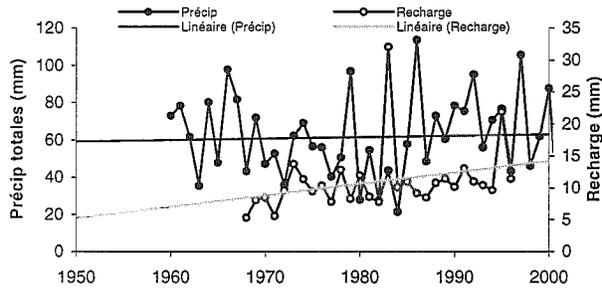


Déc.

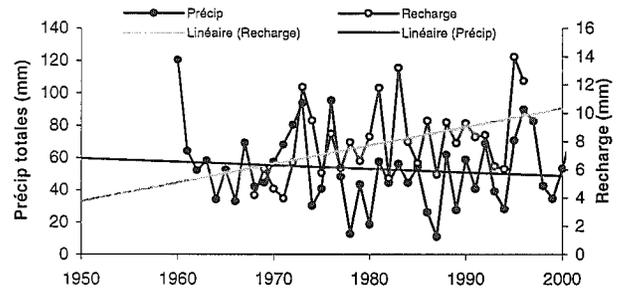


# Saguenay, Qc

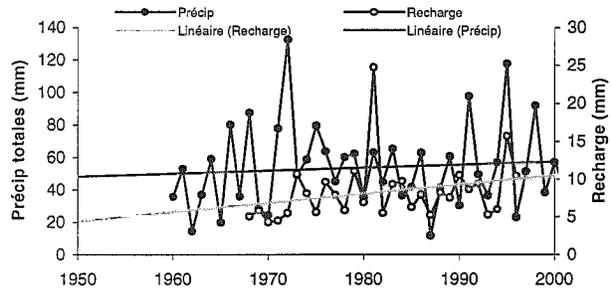
Janv.



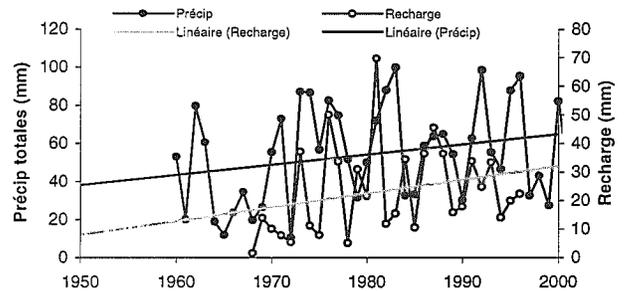
Fév.



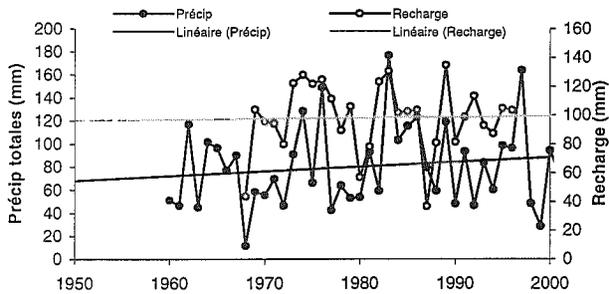
Mars



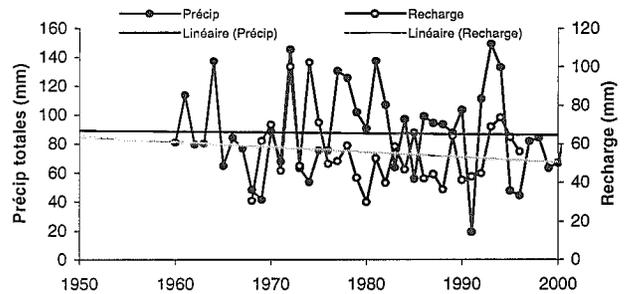
Avril



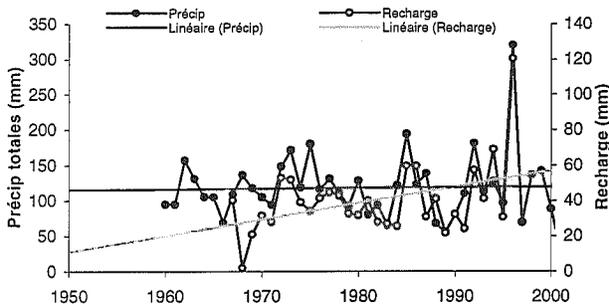
Mai



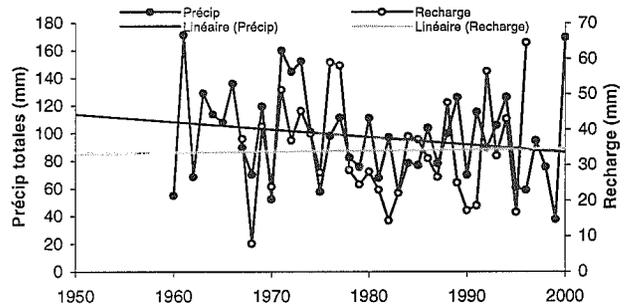
Juin



Juill.

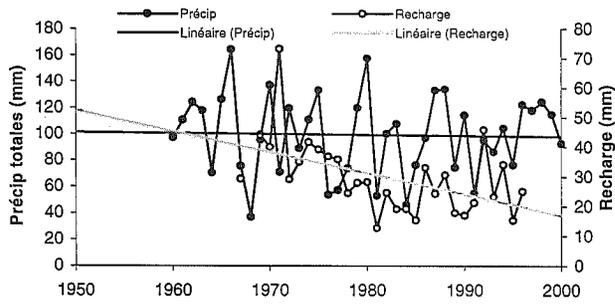


Août

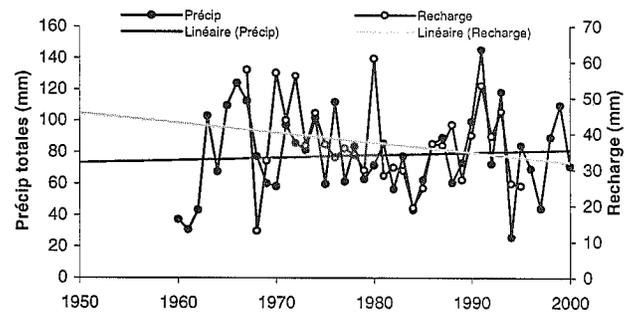


# Saguenay, Qc (suite)

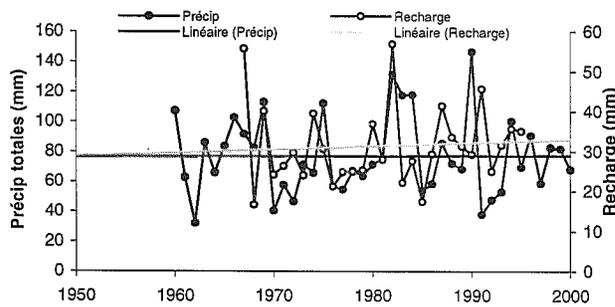
Sept.



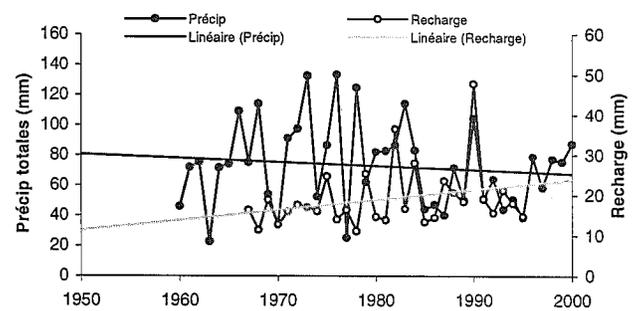
Oct.



Nov.

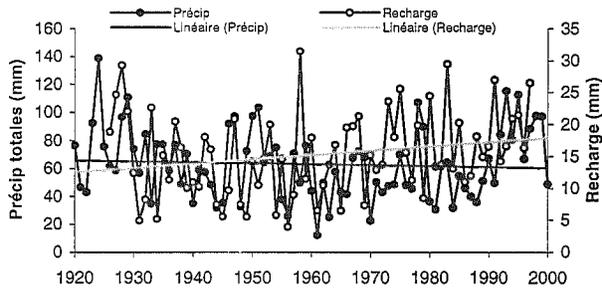


Déc.

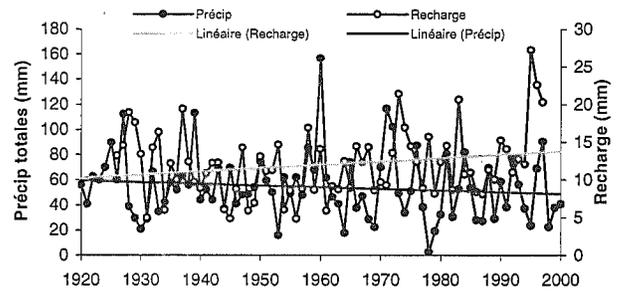


# Outaouais, Qc

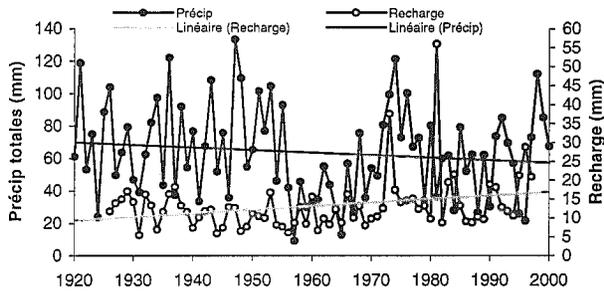
Janv.



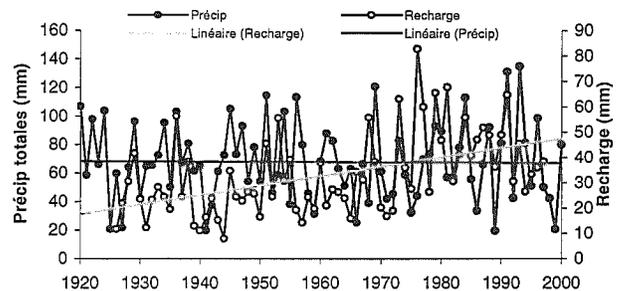
Fév.



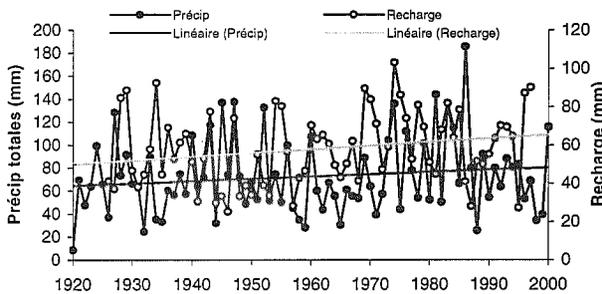
Mars



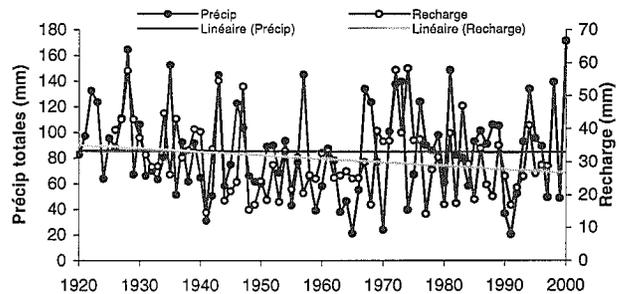
Avril



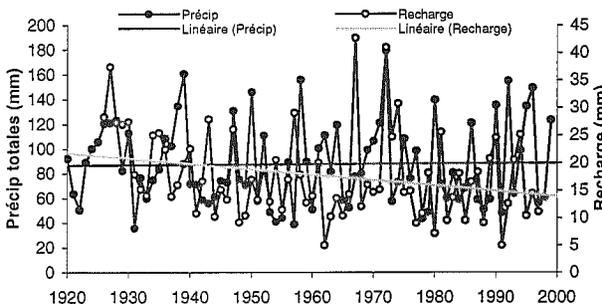
Mai



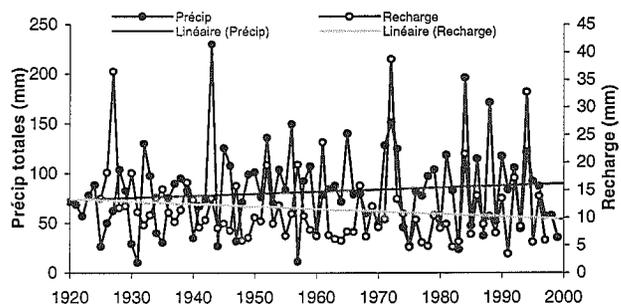
Juin



Juill.

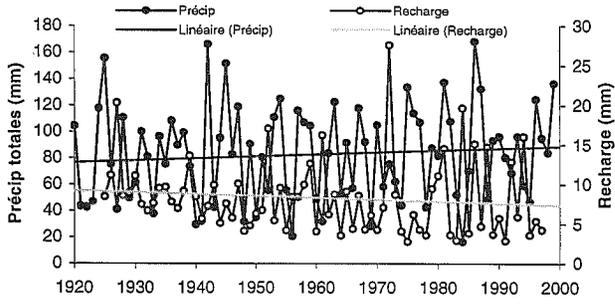


Août

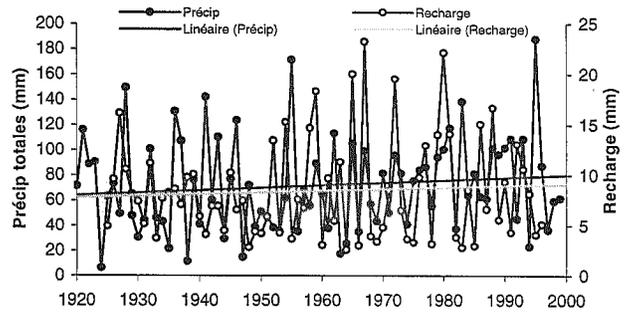


# Outaouais, Qc (suite)

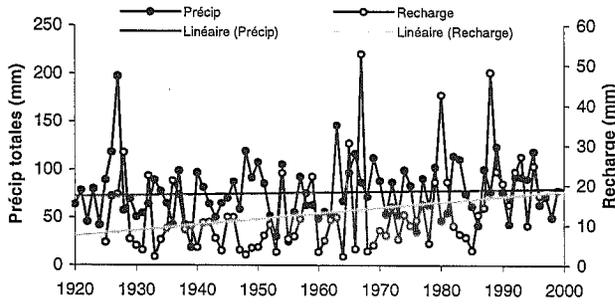
Sept.



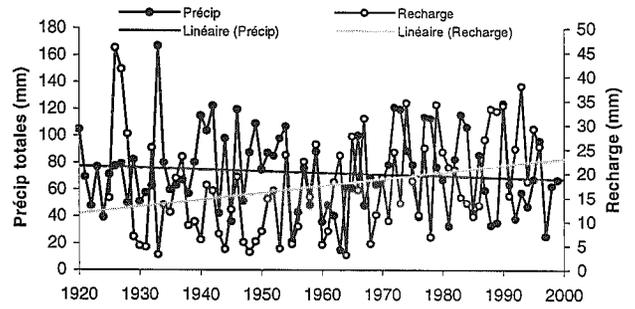
Oct.



Nov.

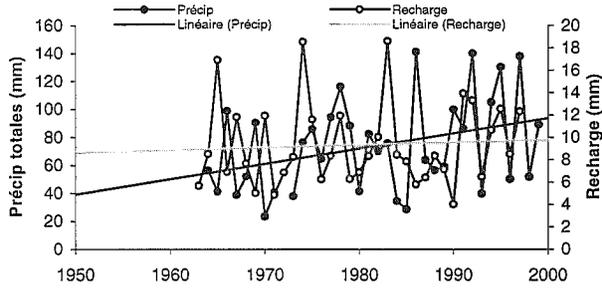


Déc.

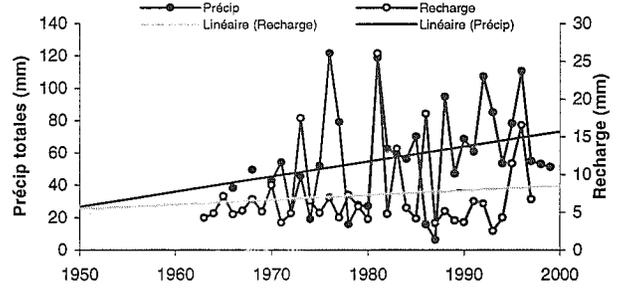


# Rimouski, Qc.

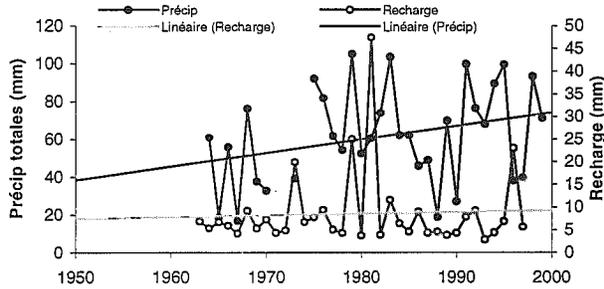
Janv.



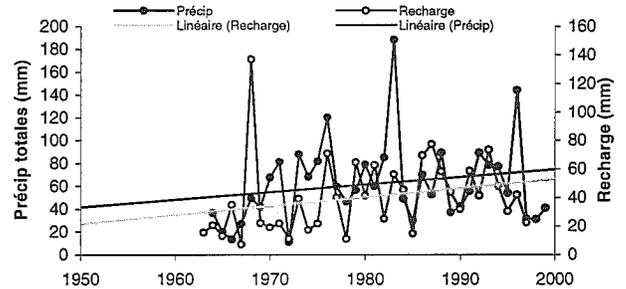
Fév.



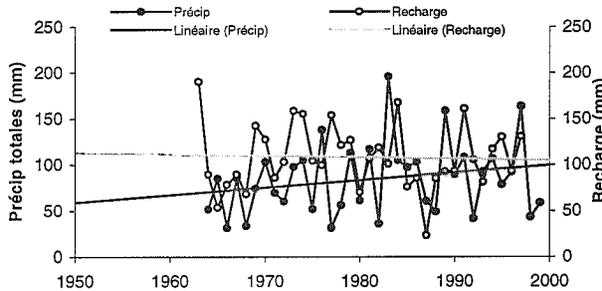
Mars



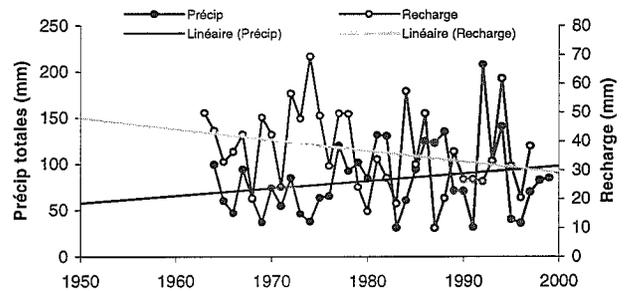
Avril



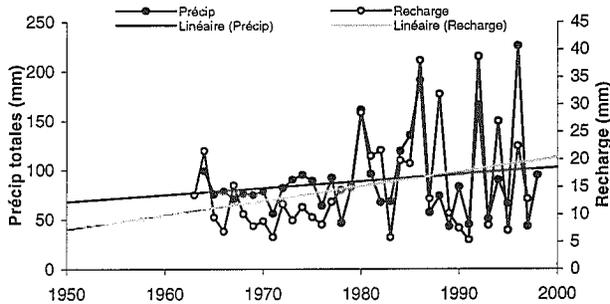
Mai



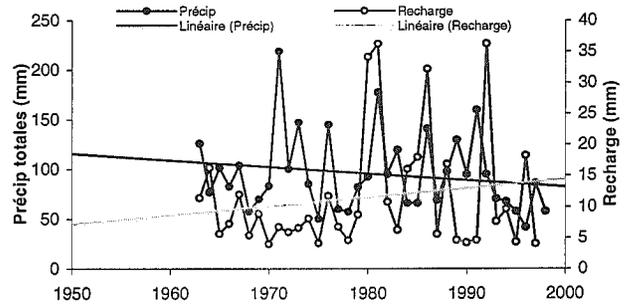
Juin



Juill.

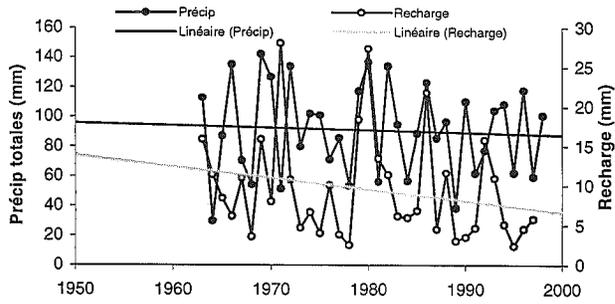


Août

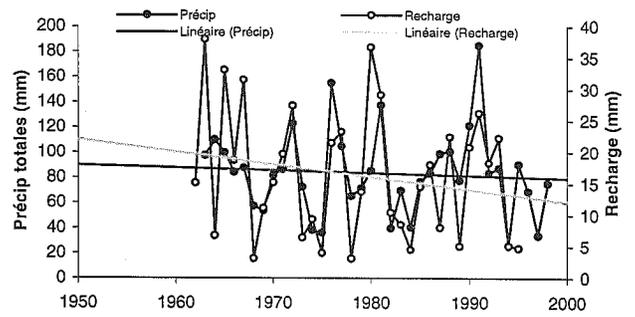


# Rimouski, Qc. (suite)

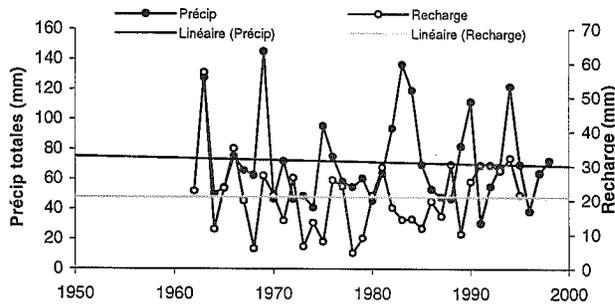
Sept.



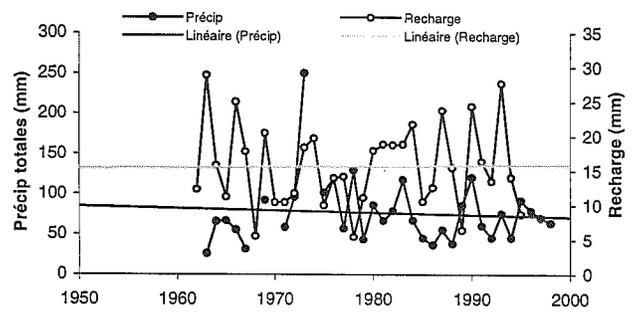
Oct.



Nov.

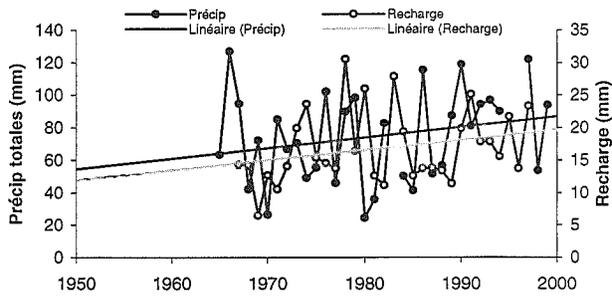


Déc.

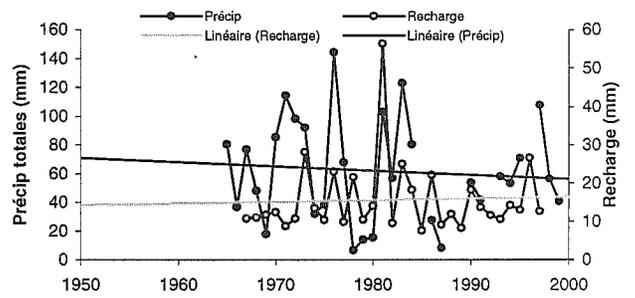


# Portneuf, Qc

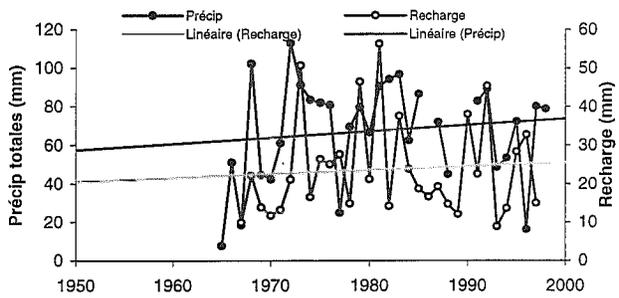
Janv.



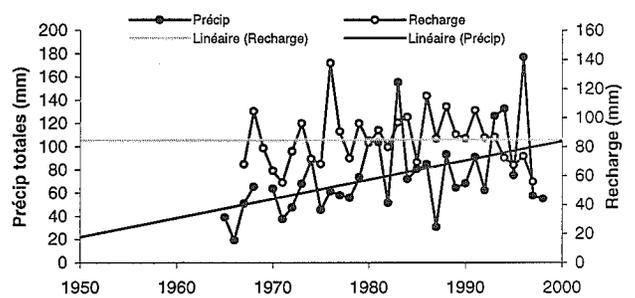
Fév.



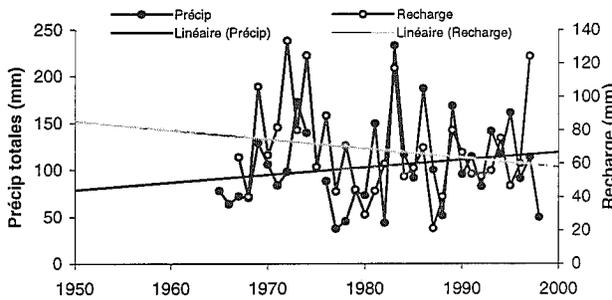
Mars



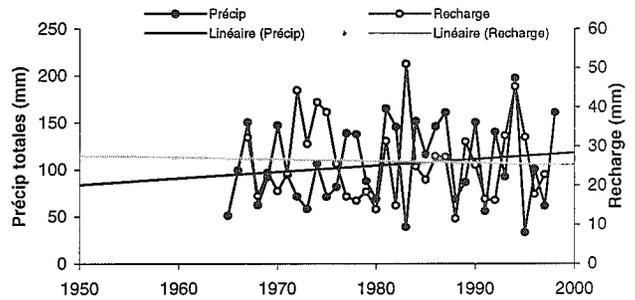
Avril



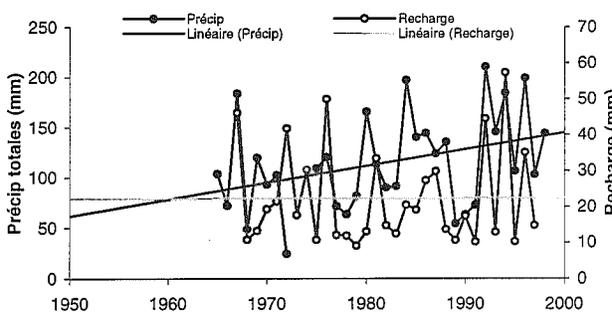
Mai



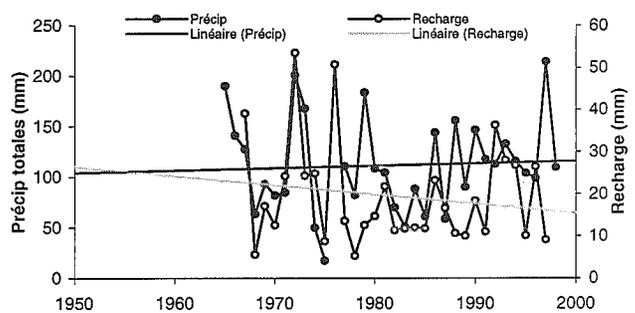
Juin



Juill.

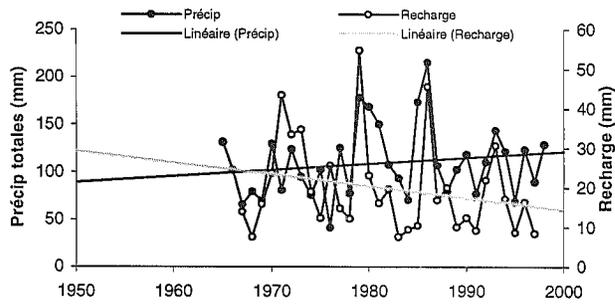


Août

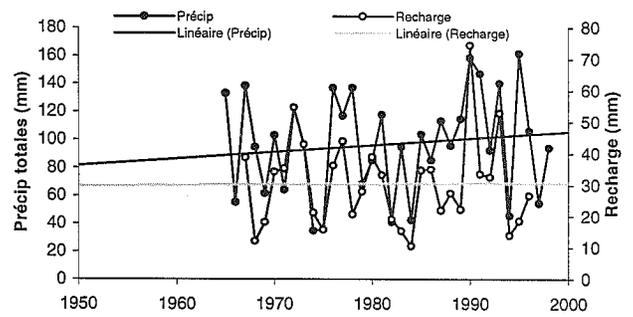


# Portneuf, Qc (suite)

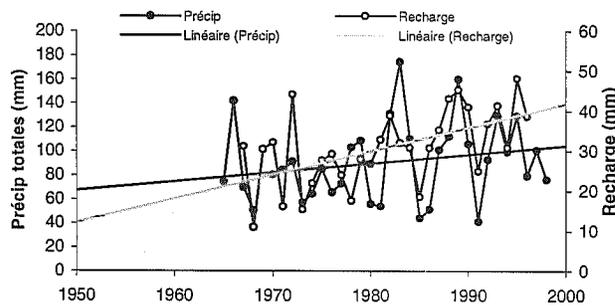
Sept.



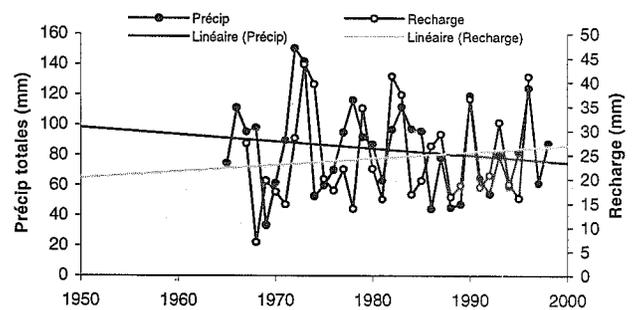
Oct.



Nov.

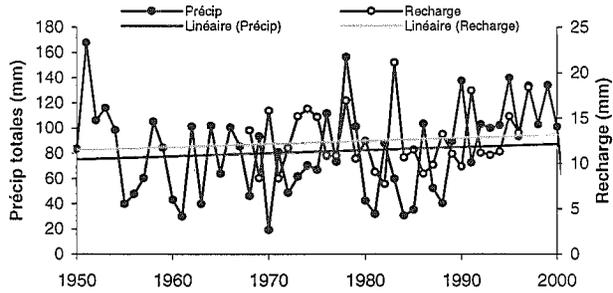


Déc.

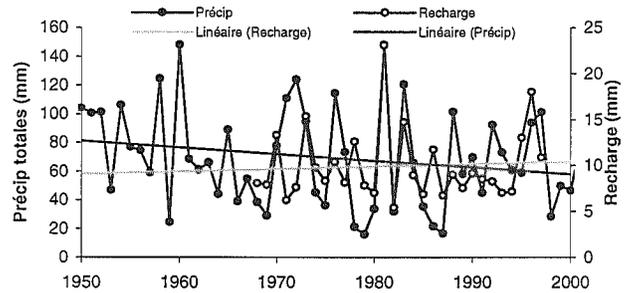


# Trois-Rivières, Qc

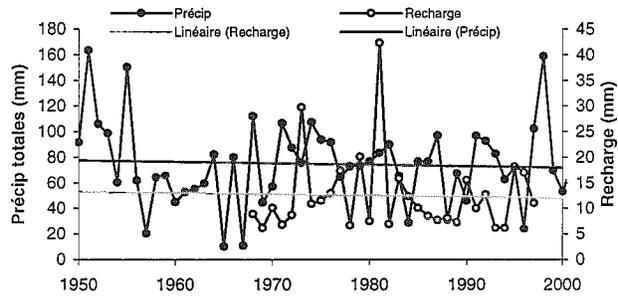
Janv.



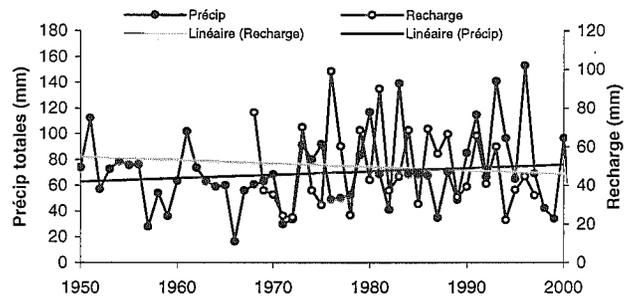
Fév.



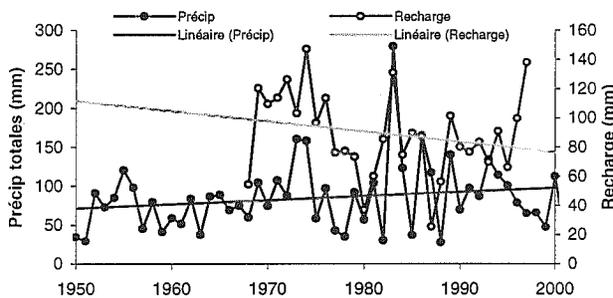
Mars



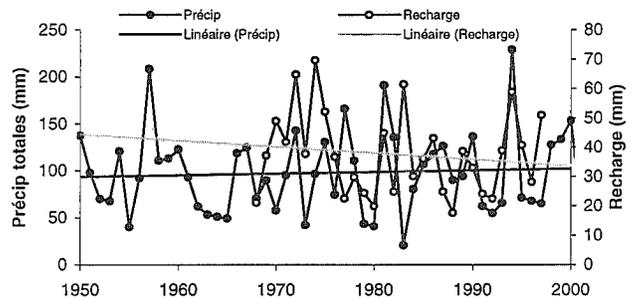
Avril



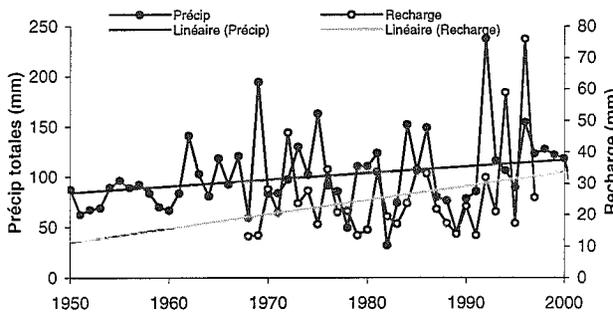
Mai



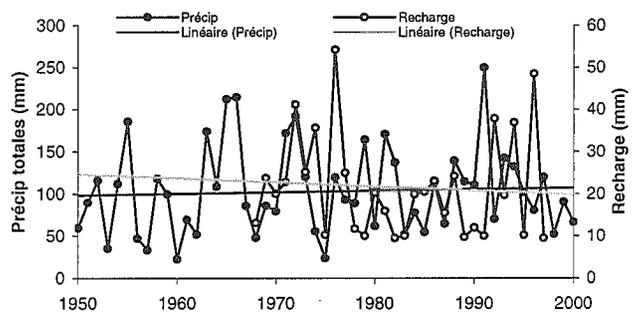
Juin



Juill.

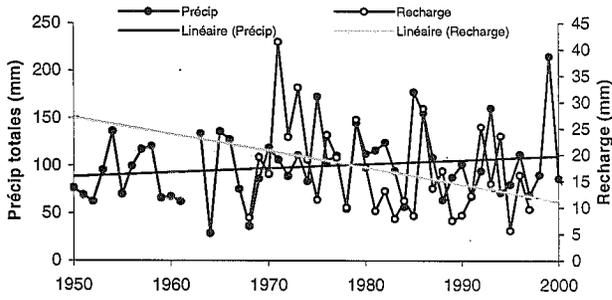


Août

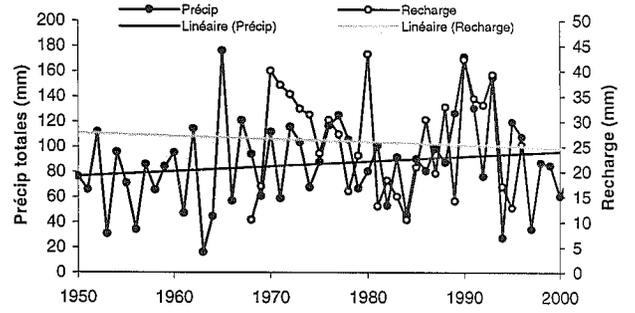


# Trois-Rivières, Qc (suite)

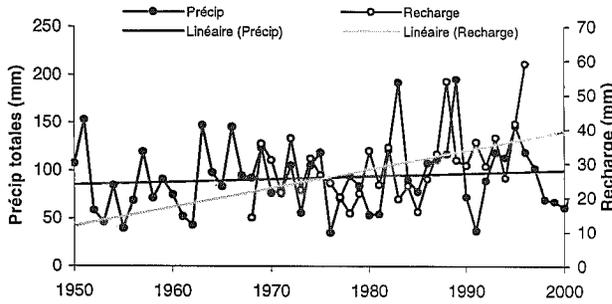
Sept.



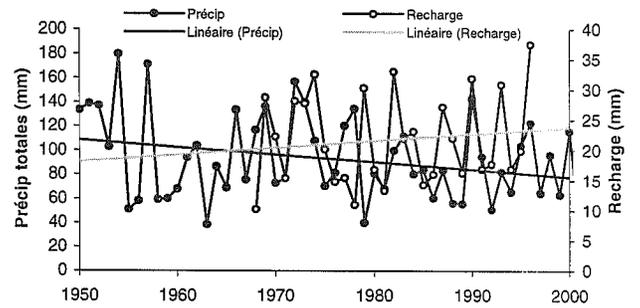
Oct.



Nov.

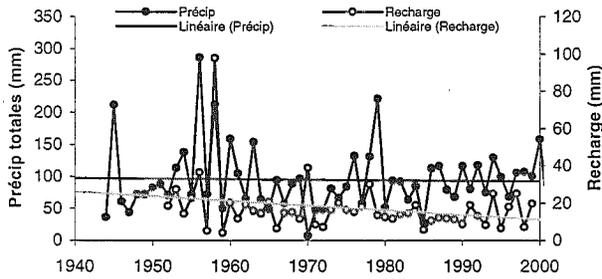


Déc.

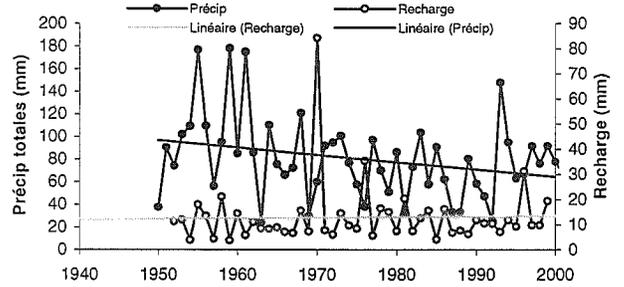


# Miramichi, N.-B.

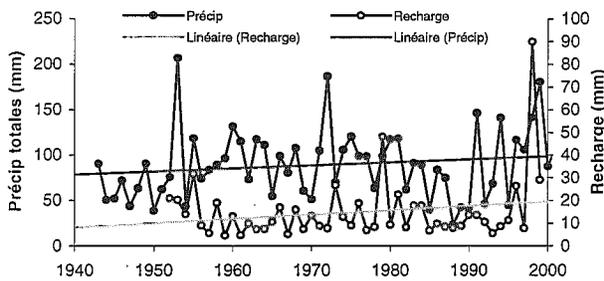
Janv.



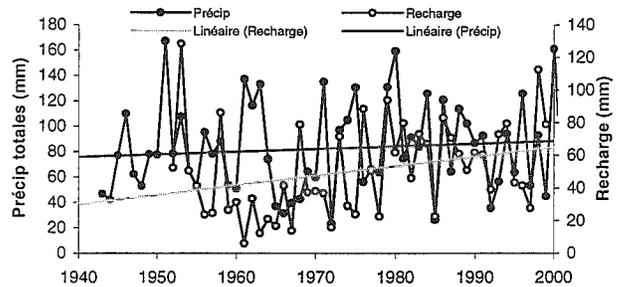
Fév.



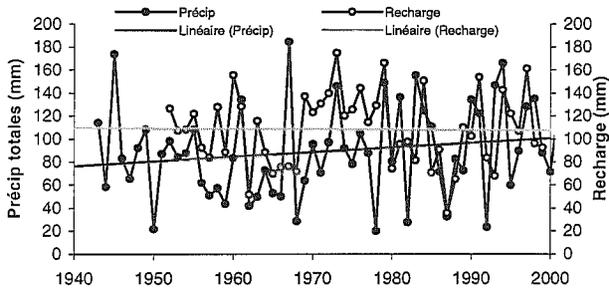
Mars



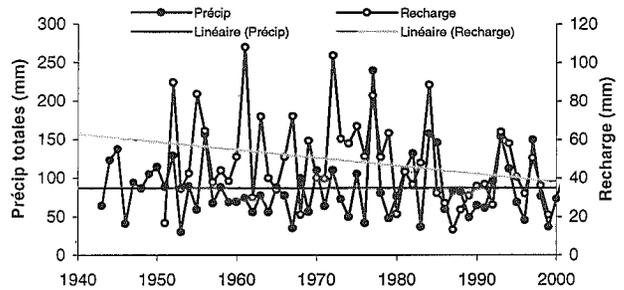
Avril



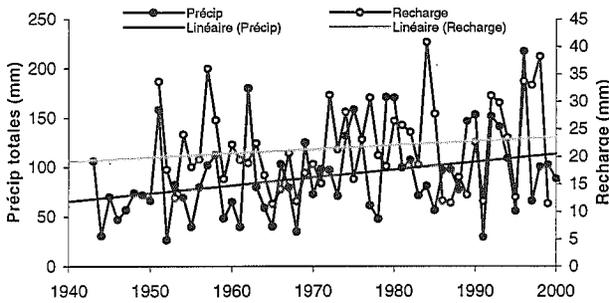
Mai



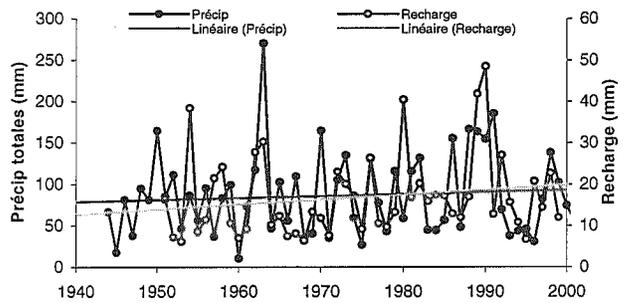
Juin



Juill.

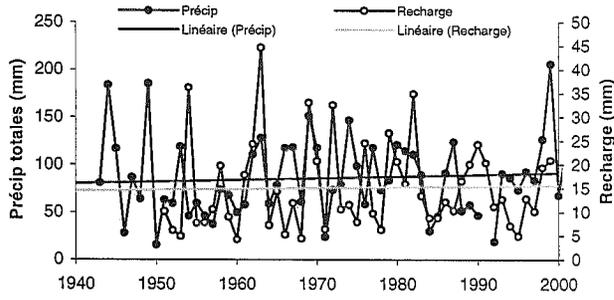


Août

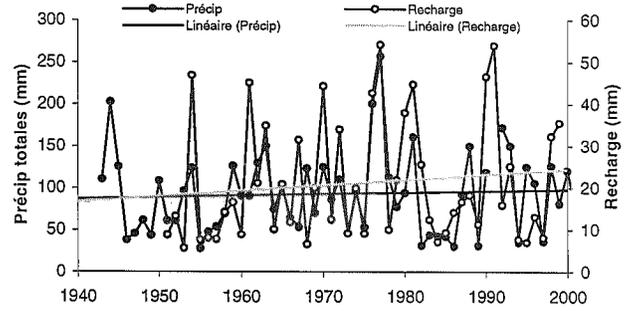


# Miramichi, N.-B. (suite)

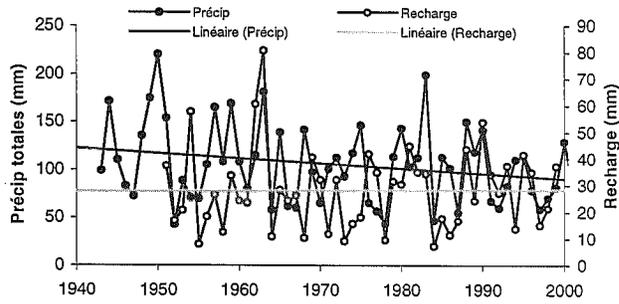
Sept.



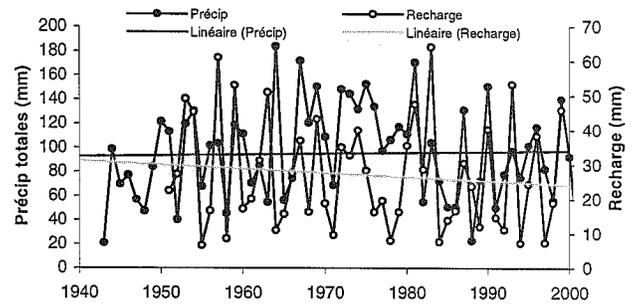
Oct.



Nov.

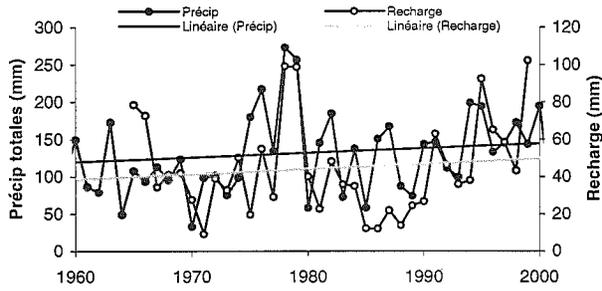


Déc.

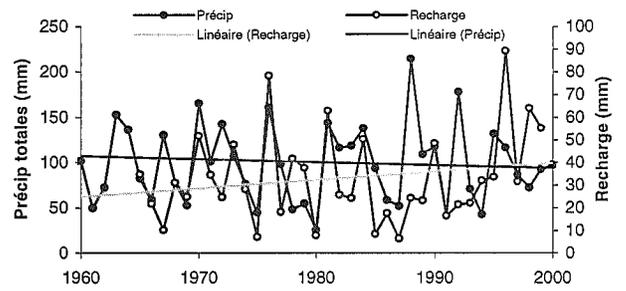


# Sussex, N.-B.

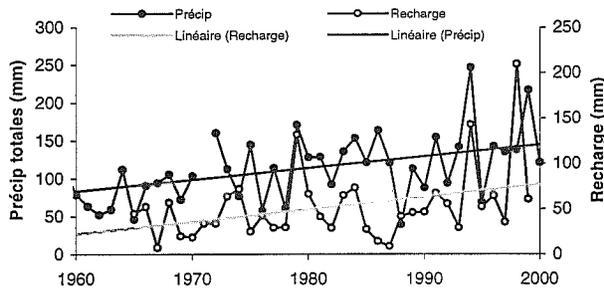
Janv.



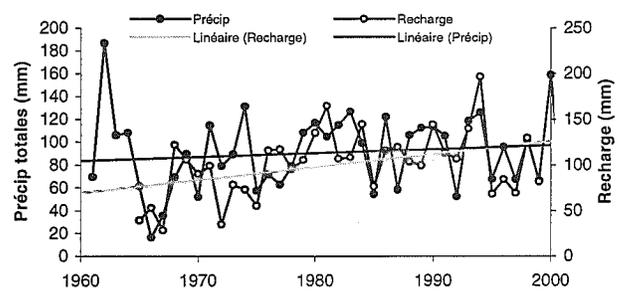
Fév.



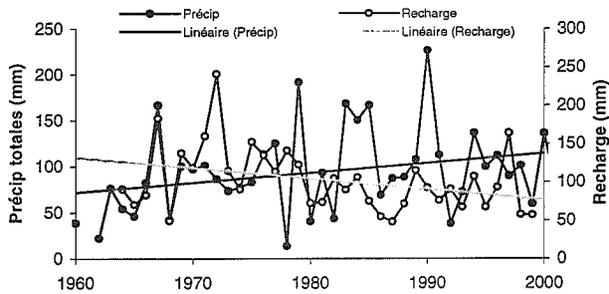
Mars



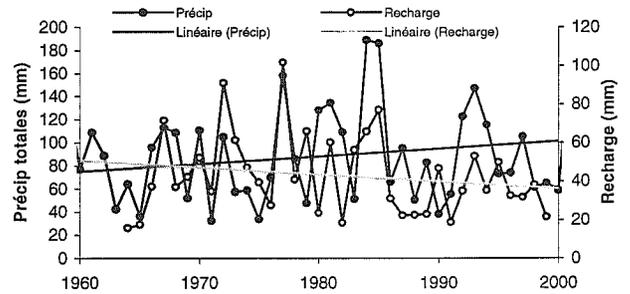
Avril



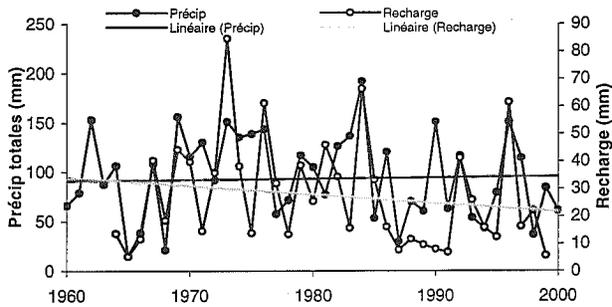
Mai



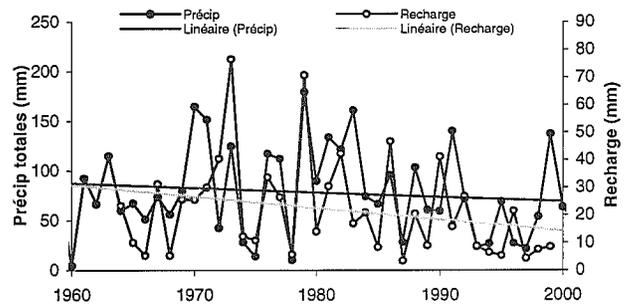
Juin



Juill.

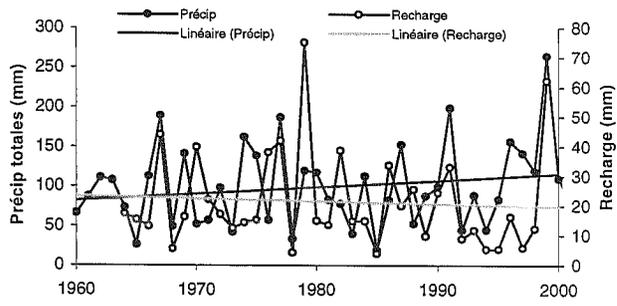


Août

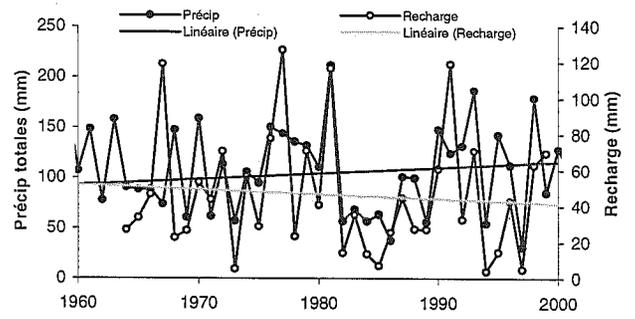


# Sussex, N.-B. (suite)

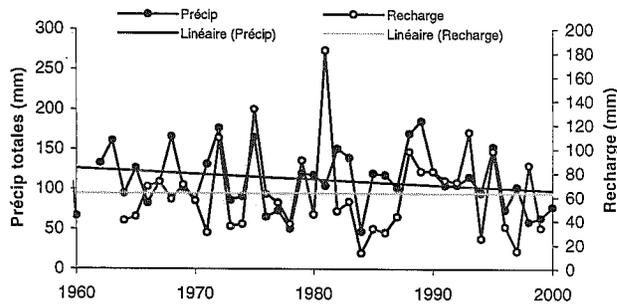
Sept.



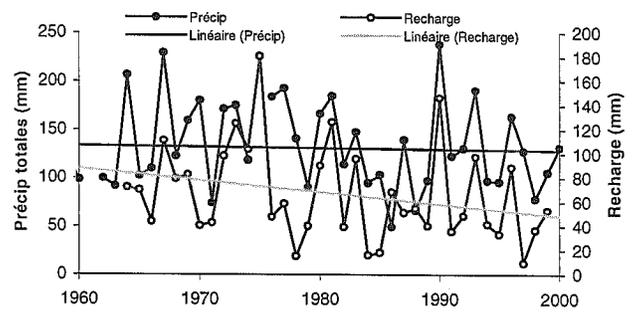
Oct.



Nov.

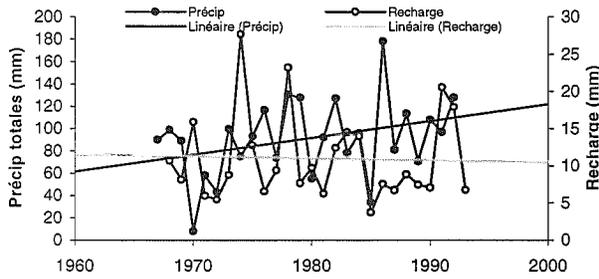


Déc.

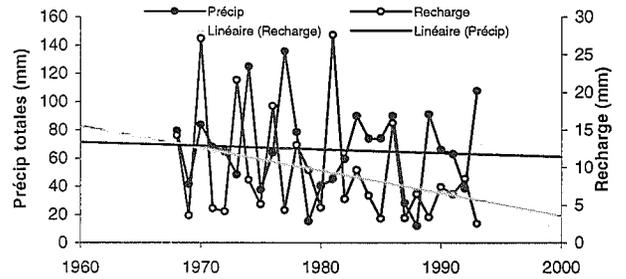


# Grand Falls, N.-B.

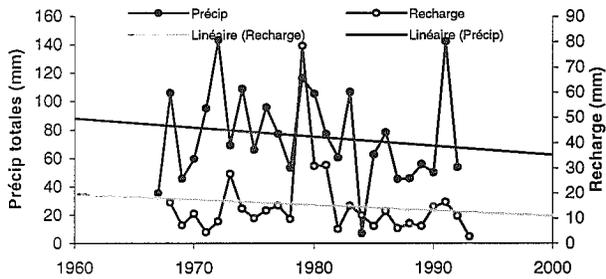
Janv.



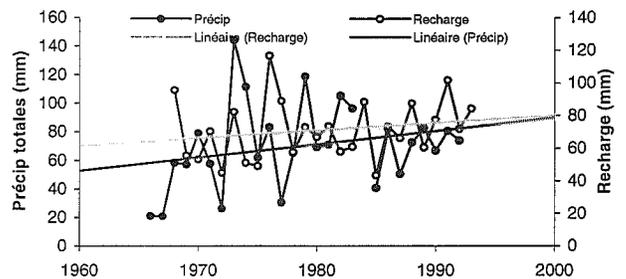
Fév.



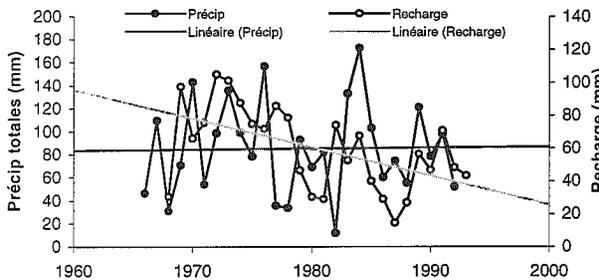
Mars



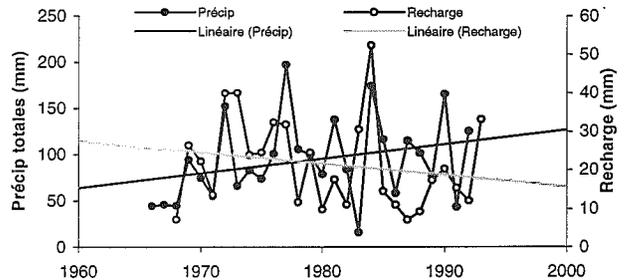
Avril



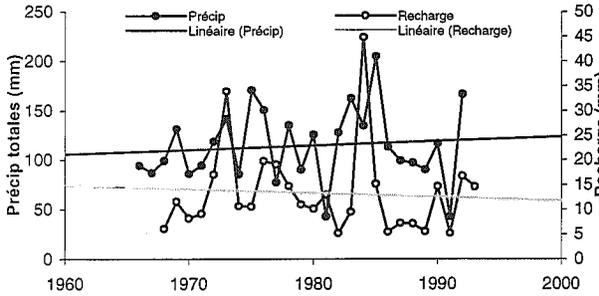
Mai



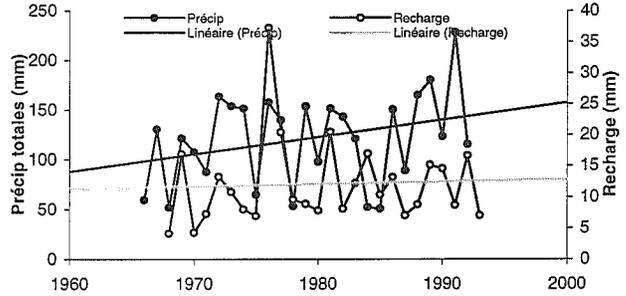
Juin



Juill.

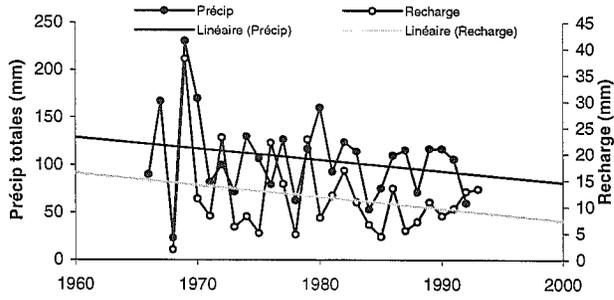


Août

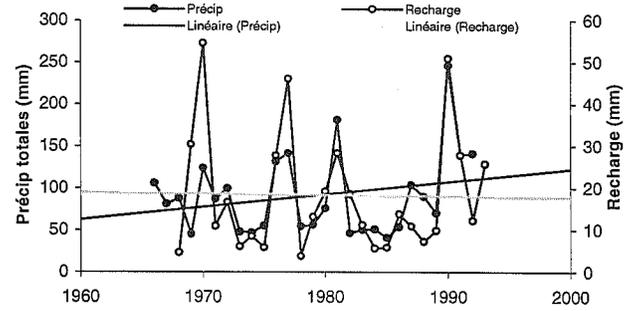


# Grand Falls, N.-B. (suite)

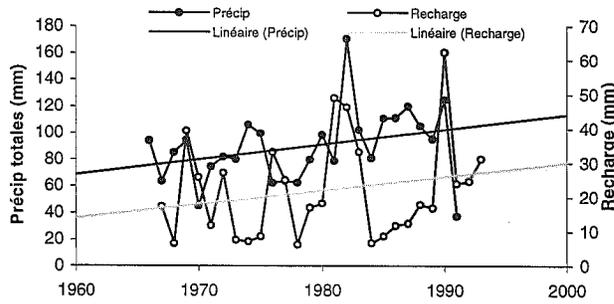
Sept.



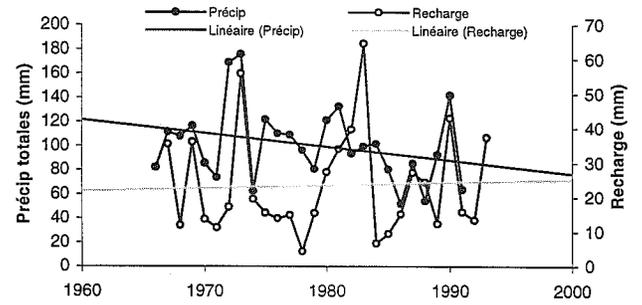
Oct.



Nov.

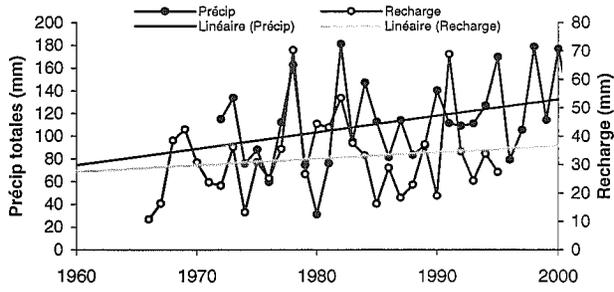


Déc.

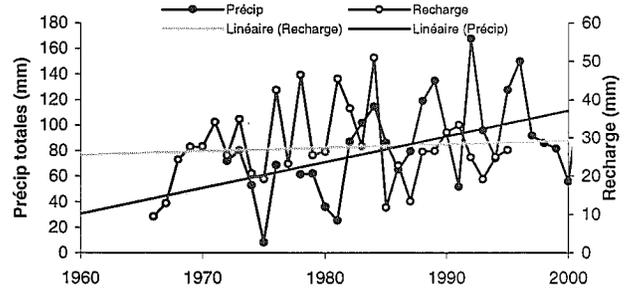


# Bangor, I.-P.-É.

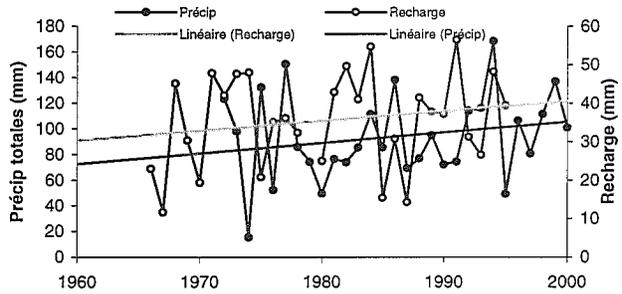
Janv.



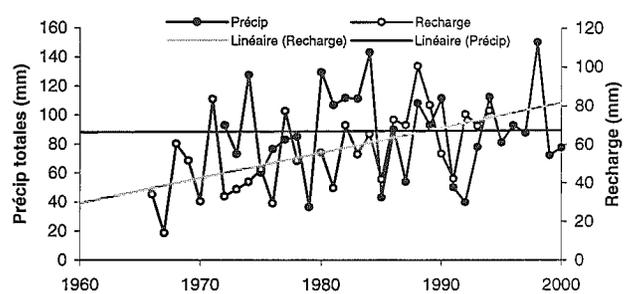
Fév.



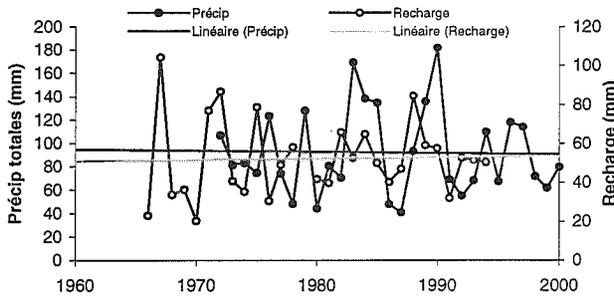
Mars



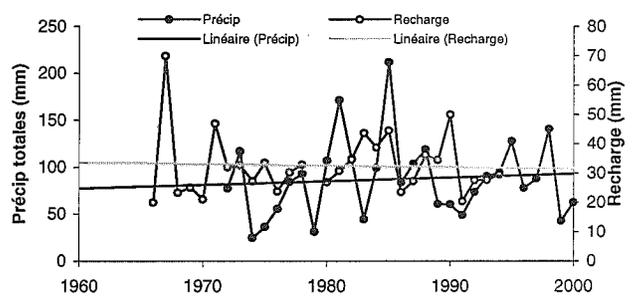
Avril



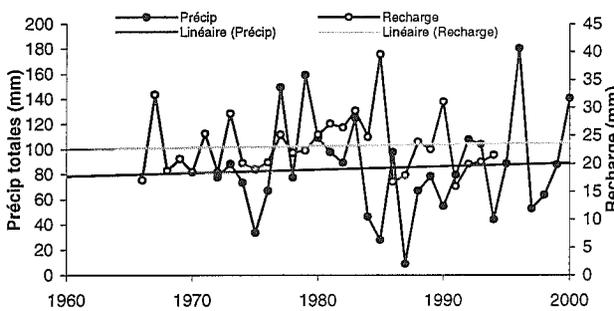
Mai



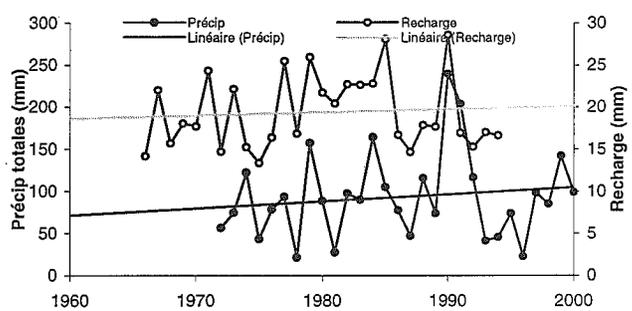
Juin



Juill.

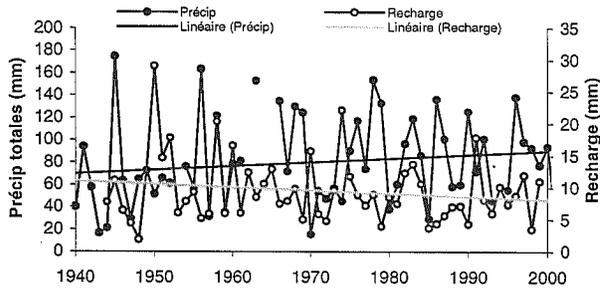


Août

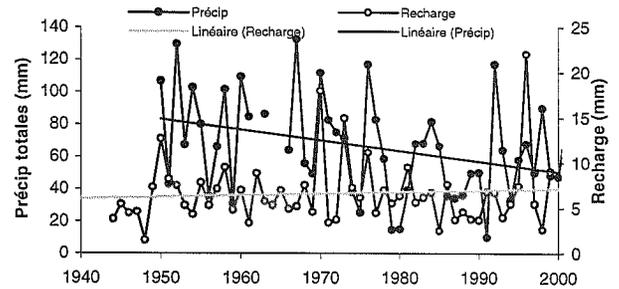


# Nepiseguit Falls, N-B

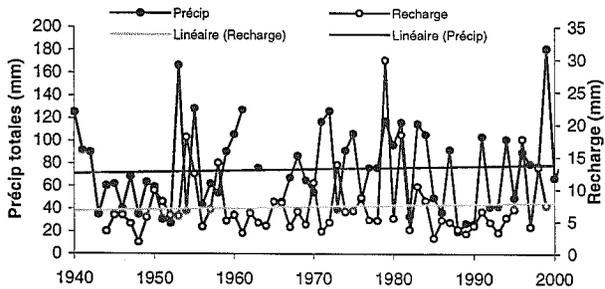
Janv.



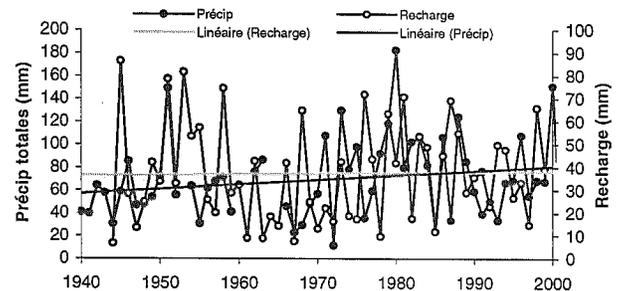
Fév.



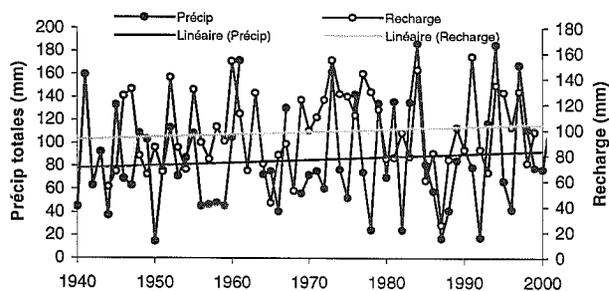
Mars



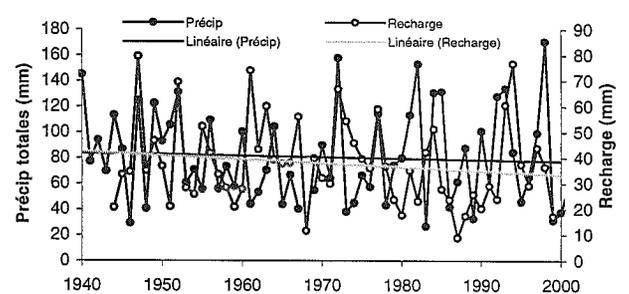
Avril



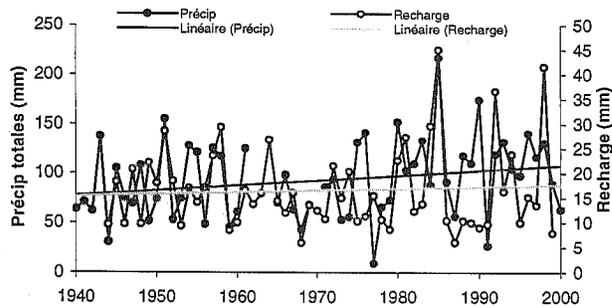
Mai



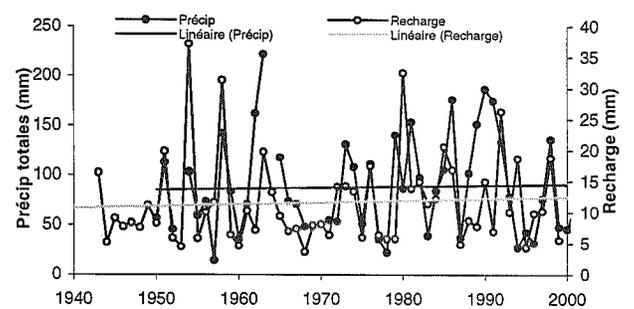
Juin



Juill.

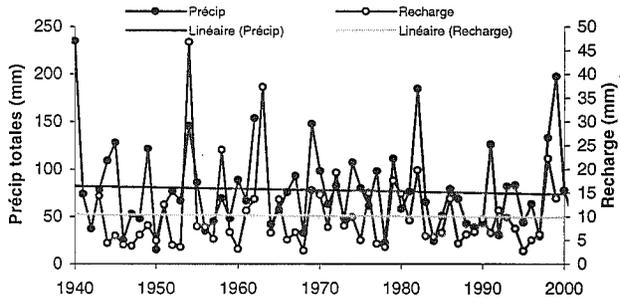


Août

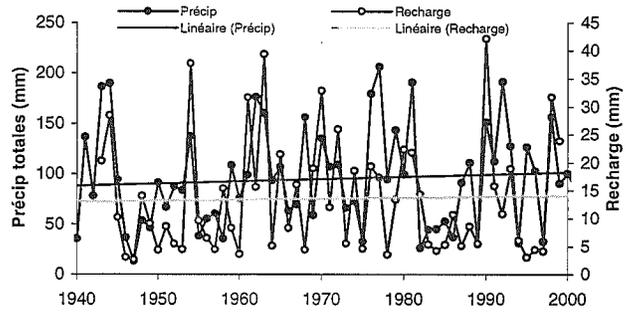


# Nepiseguit Falls, N,-B (suite)

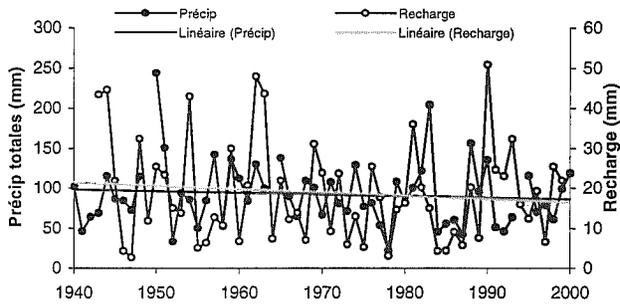
Sept.



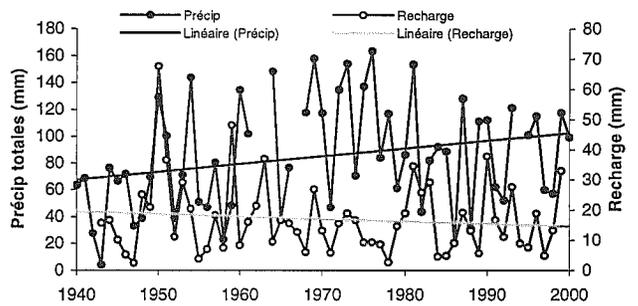
Oct.



Nov.

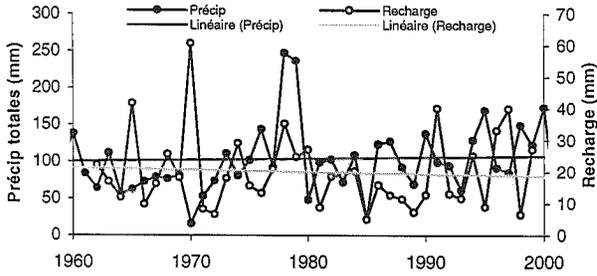


Déc.

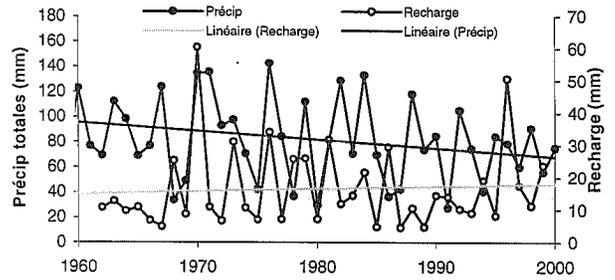


# Fredericton, N.-B.

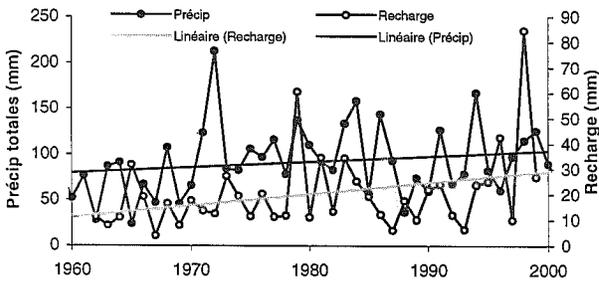
Janv.



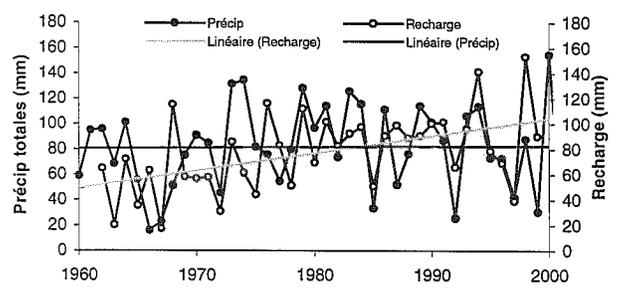
Fév.



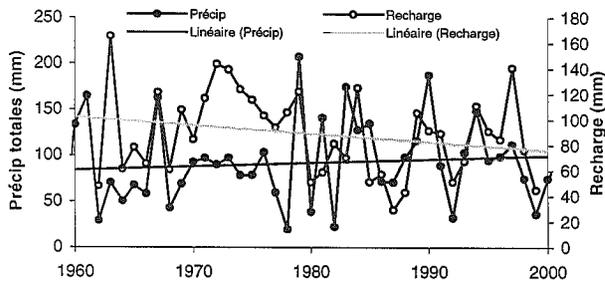
Mars



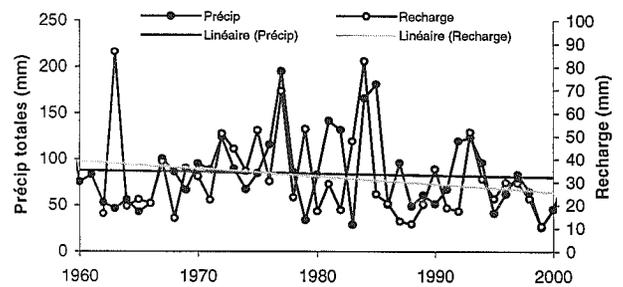
Avril



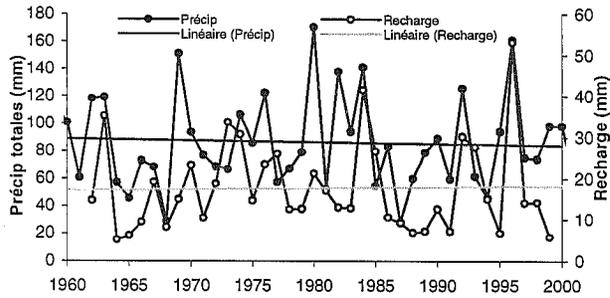
Mai



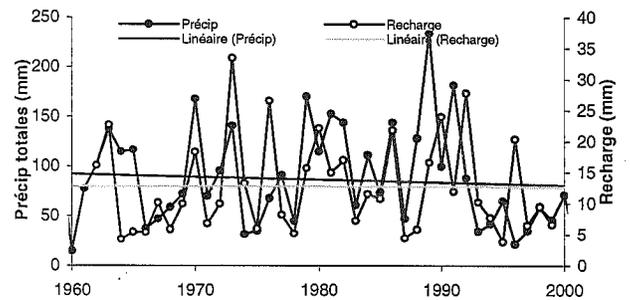
Juin



Juill.

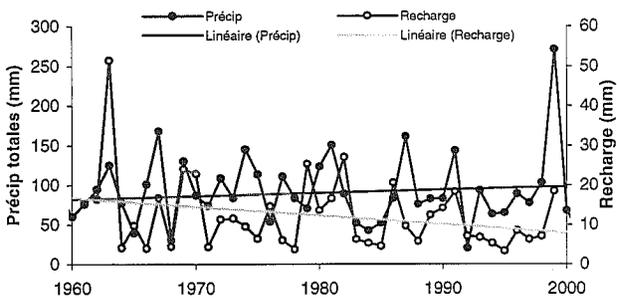


Août

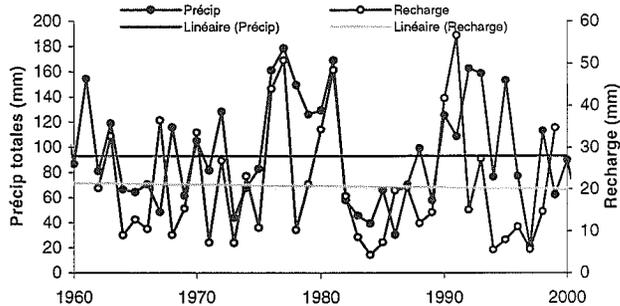


# Fredericton, N.-B. (suite)

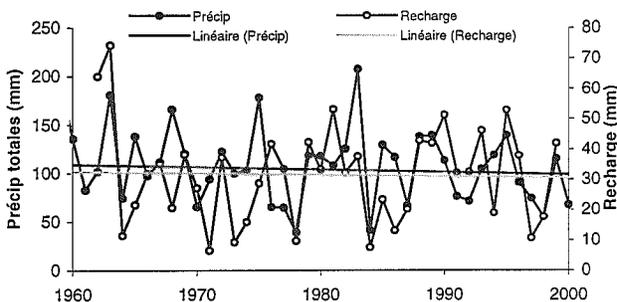
Sept.



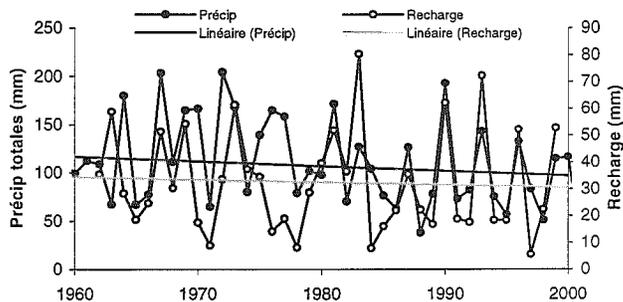
Oct.



Nov.

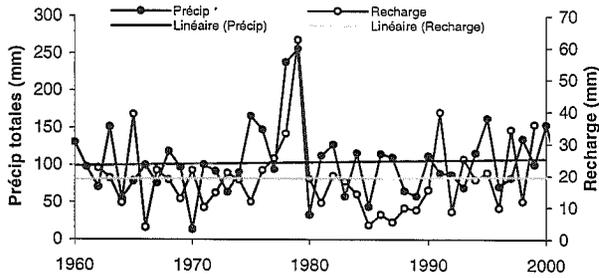


Déc.

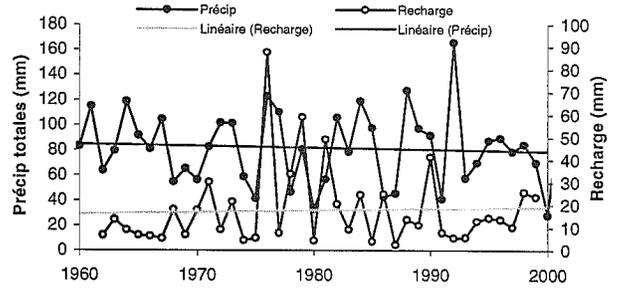


# Moncton, N.-B.

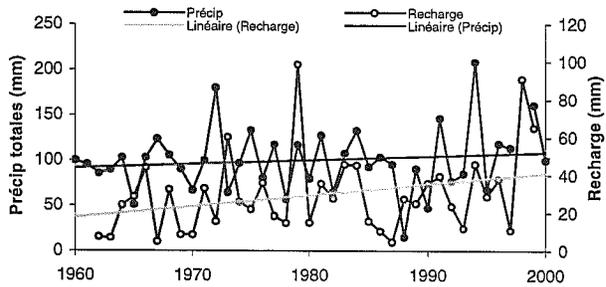
Janv.



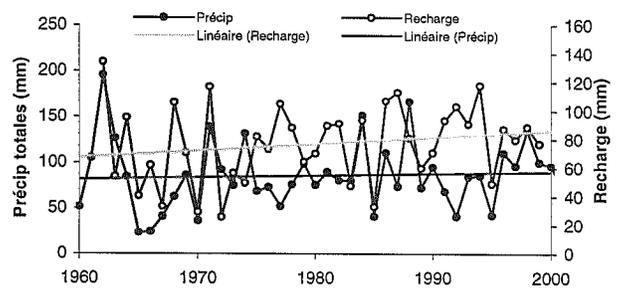
Fév.



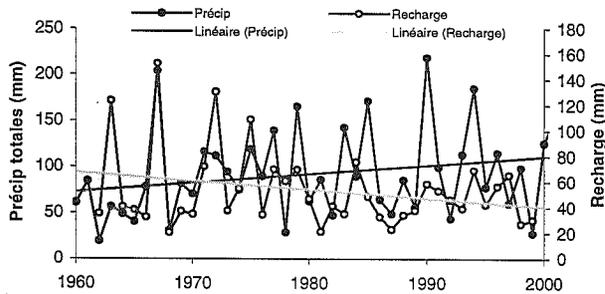
Mars



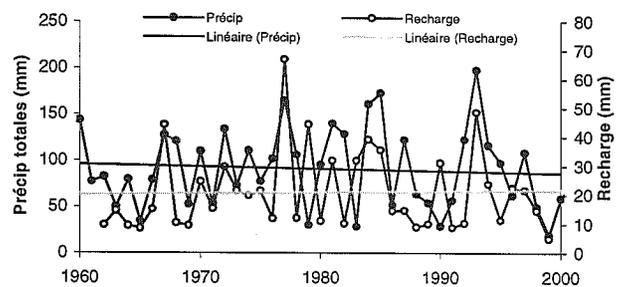
Avril



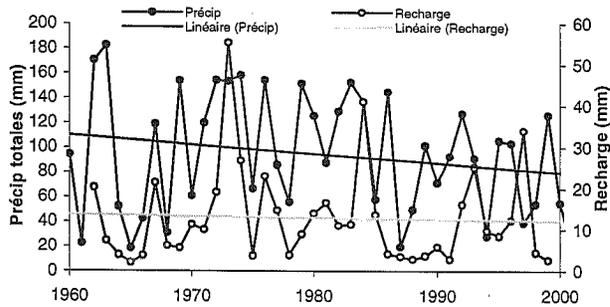
Mai



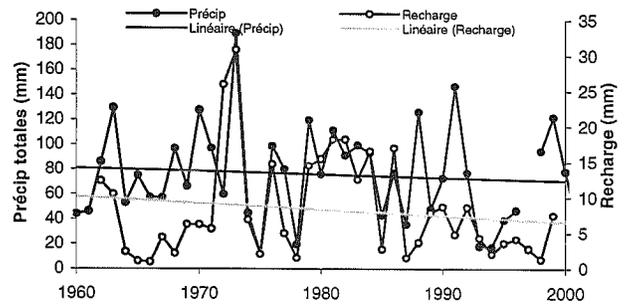
Juin



Juill.

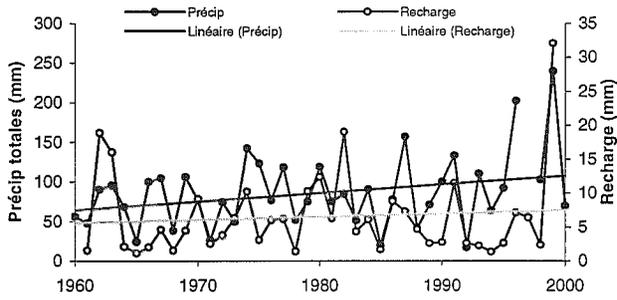


Août

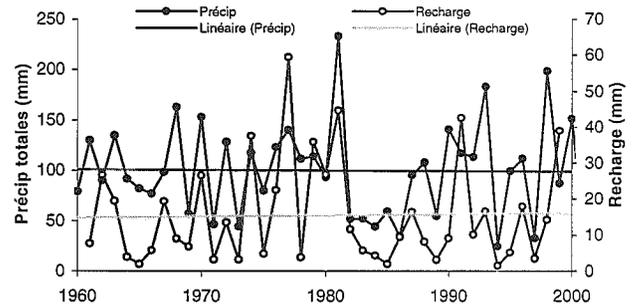


# Moncton, N.-B. (suite)

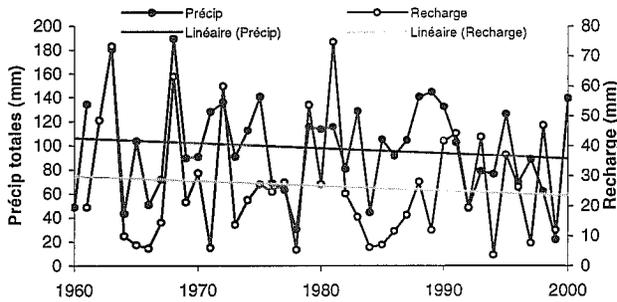
Sept.



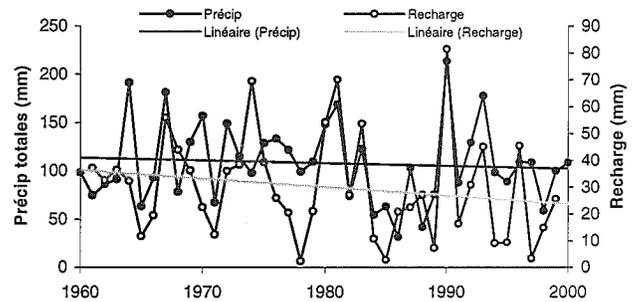
Oct.



Nov.

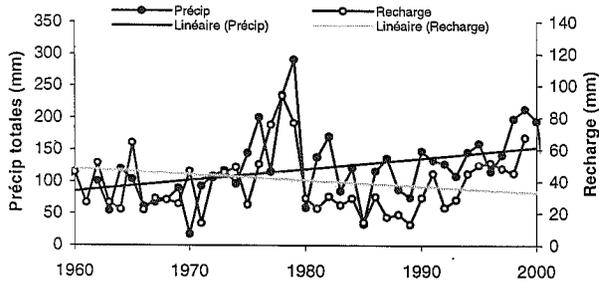


Déc.

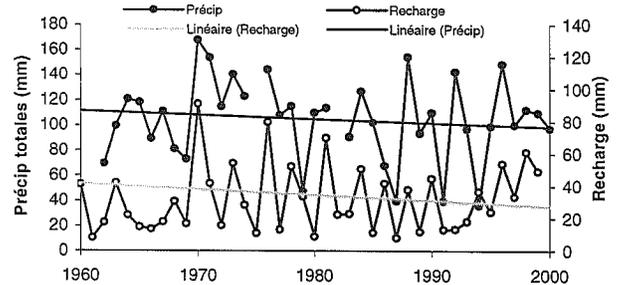


# St-John, N.-B.

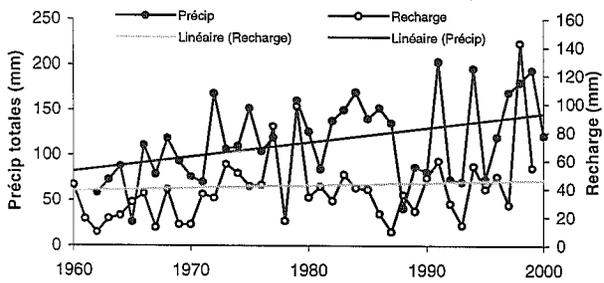
Janv.



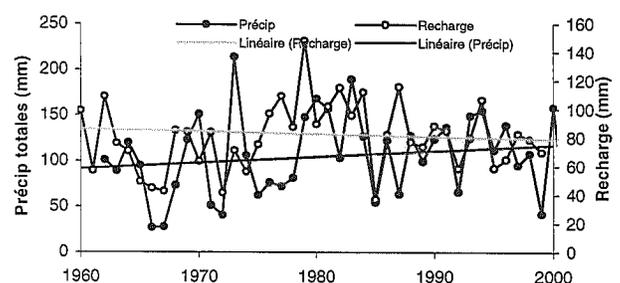
Fév.



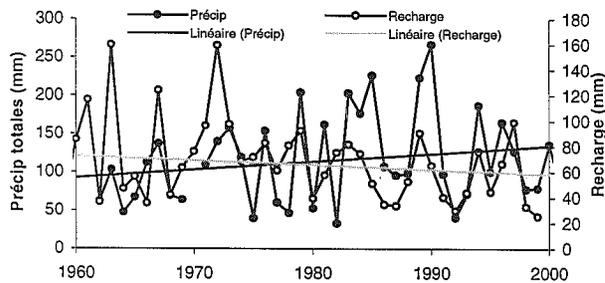
Mars



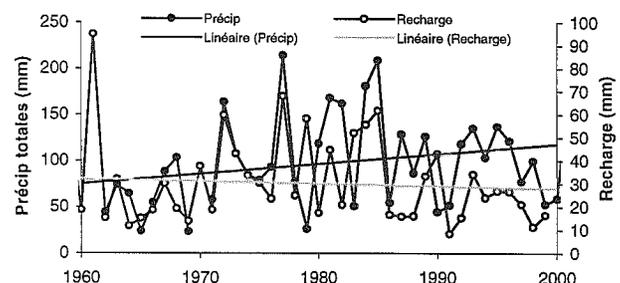
Avril



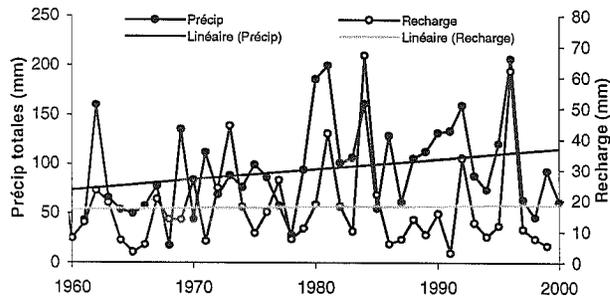
Mai



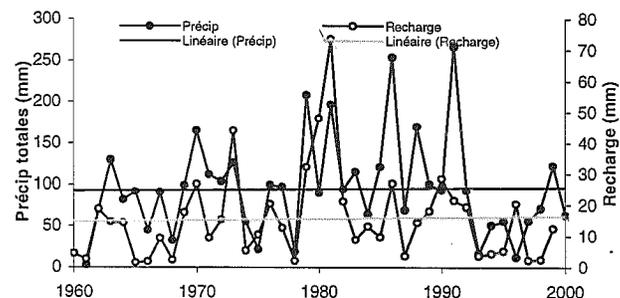
Juin



Juill.

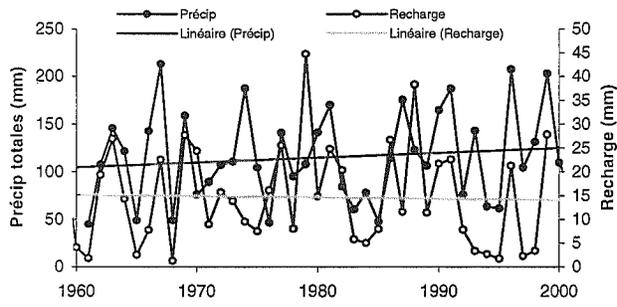


Août

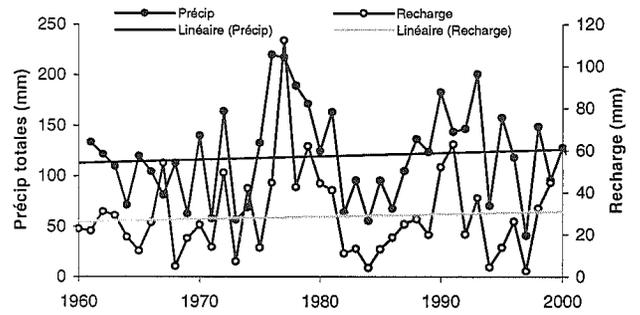


# St-John, N.-B. (suite)

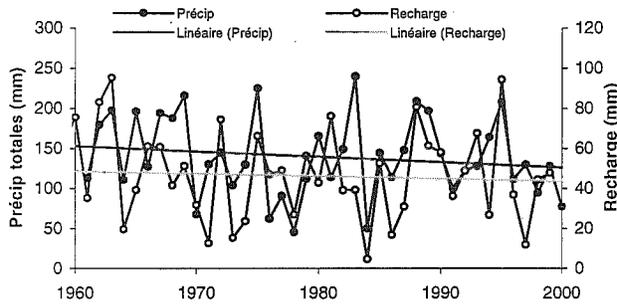
Sept.



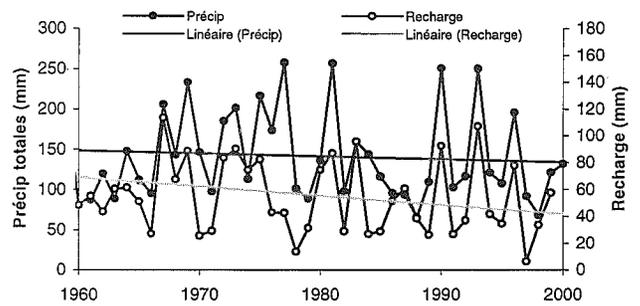
Oct.



Nov.

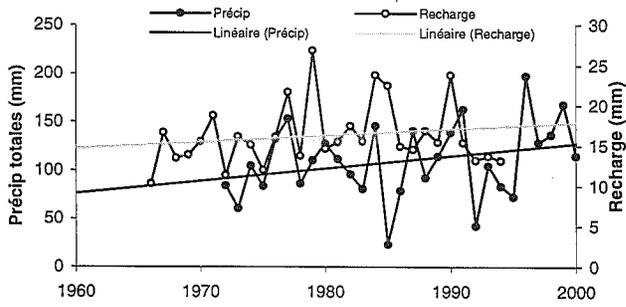


Déc.

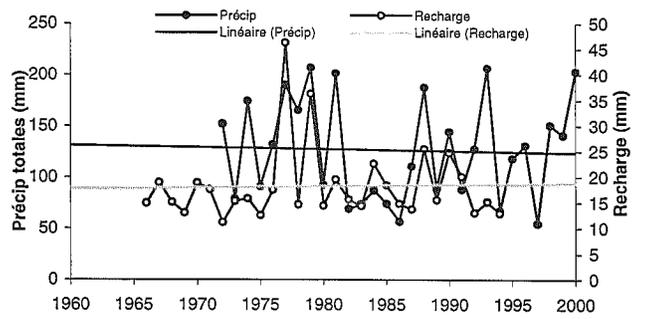


# Bangor, I.-P.-É. (suite)

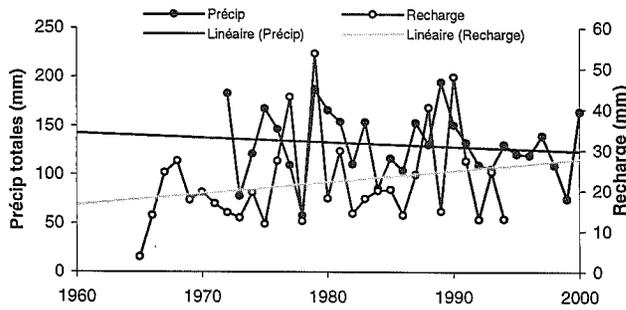
Sept.



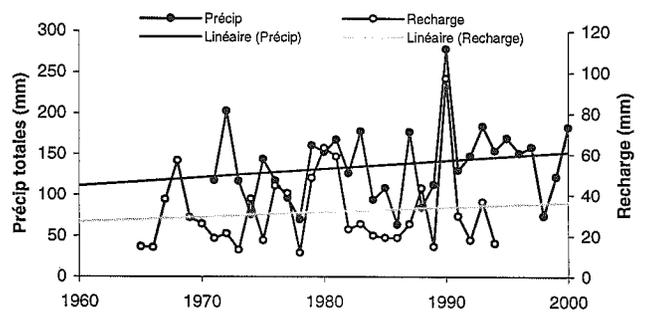
Oct.



Nov.

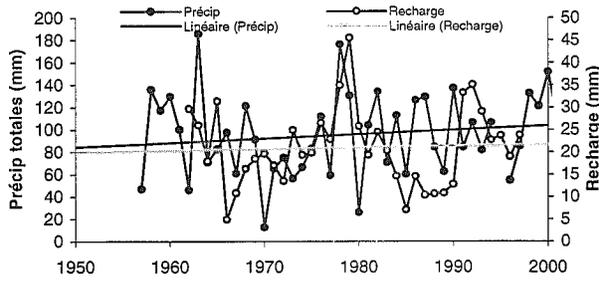


Déc.

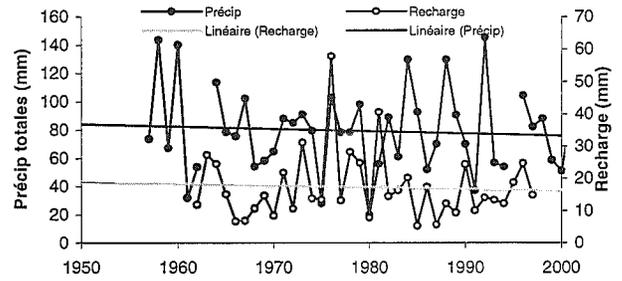


# O'Leary, I.-P.-É.

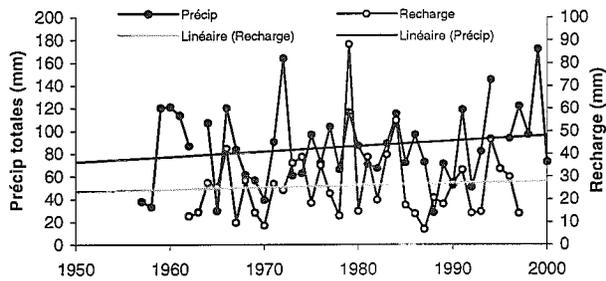
Janv.



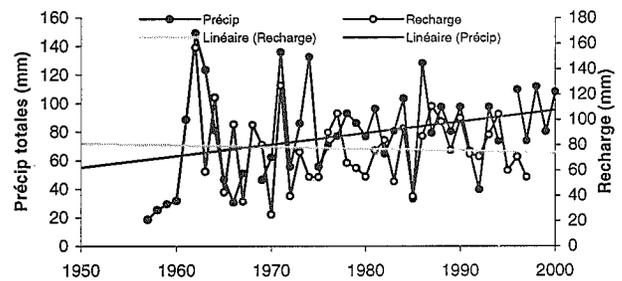
Fév.



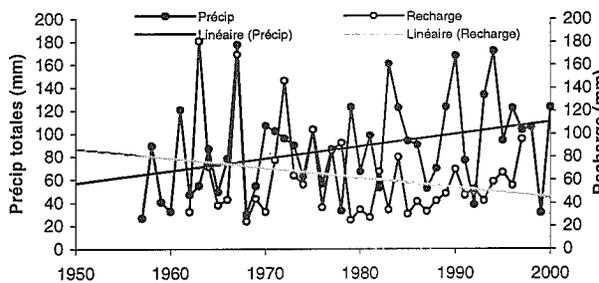
Mars



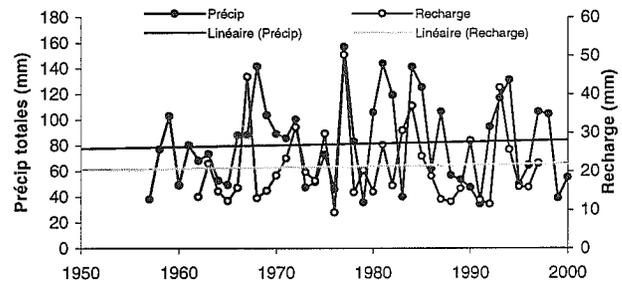
Avril



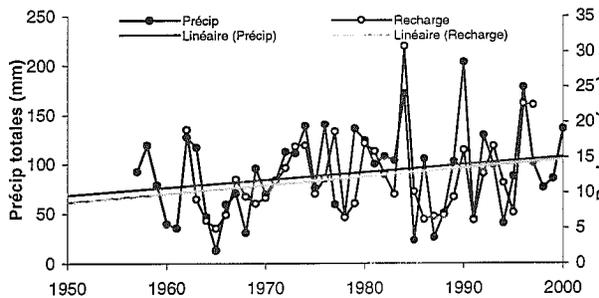
Mai



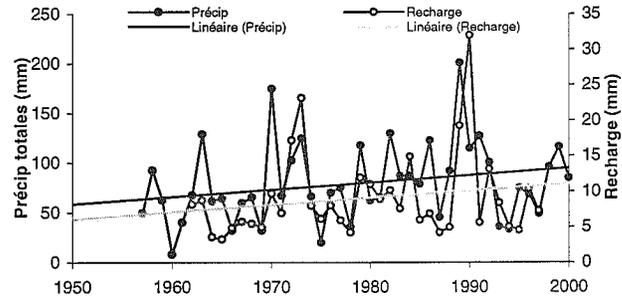
Juin



Juill.

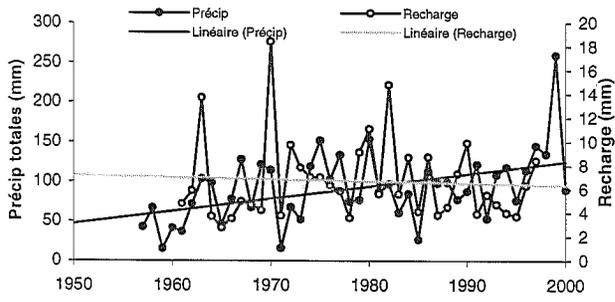


Août

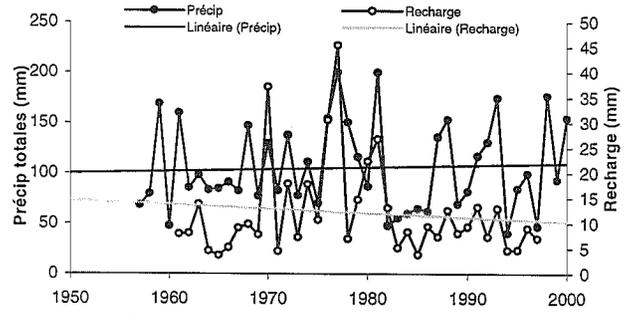


# O'Leary, I.-P.-É. (suite)

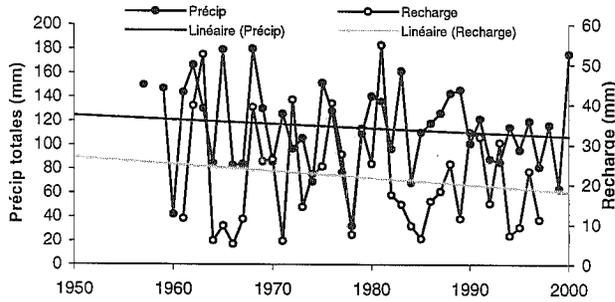
Sept.



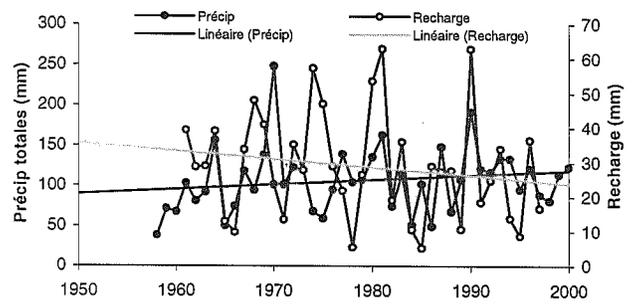
Oct.



Nov.



Déc.



# **ANNEXE E**

**Développement d'indices**

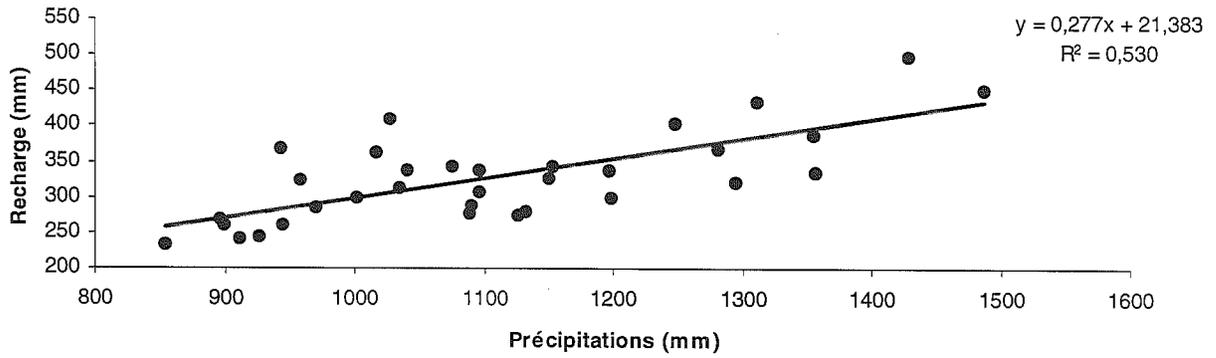


Tableau E-I : Tableau résumé des tendances linéaires entre les précipitations annuelles et la recharge annuelle

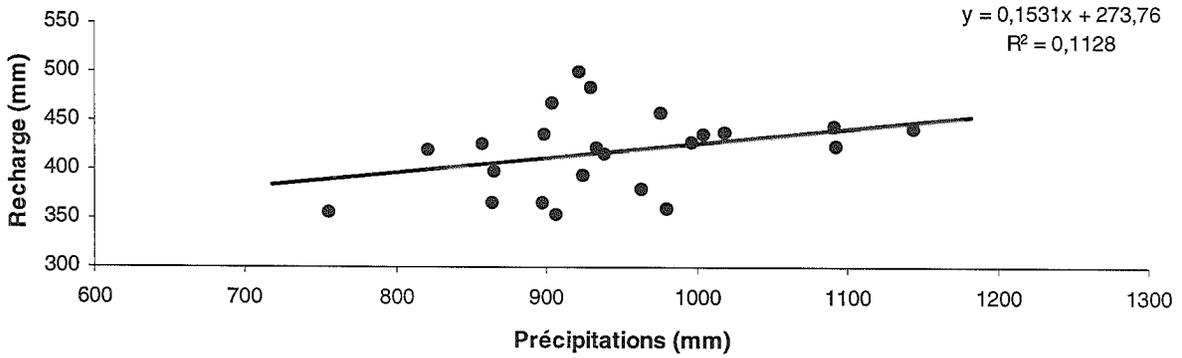
QC	Nb couples	R <sup>2</sup>	R	Limite pour R*
Sherbrooke	33	0.53	0.73	0.43
Saguenay	26	0.31		
Outaouais	71	0.32	0.57	0.30
Rimouski	31	0.29	0.54	0.45
Portneuf	31	0.26	0.51	0.45
Trois-Rivières	30	0.22	0.47	0.45
<b>N.-B.</b>				
Miramichi	47	0.52	0.72	0.36
Sussex	34	0.55	0.74	0.42
Grand Falls	24	0.57	0.75	0.50
Nepiseguit Falls	56	0.32	0.57	0.34
Fredericton	37	0.51	0.71	0.41
Moncton	34	0.79	0.89	0.42
St-John	37	0.51	0.71	0.41
<b>I.-P.-É.</b>				
Bangor	22	0.52	0.72	0.52
O'Leary	38	0.4	0.63	0.41

\* Limite pour que l'hypothèse nulle (de non corrélation) ne soit pas rejetée pour un seuil  $\alpha=0.01$  (Rohlf et Sokal, 1995)

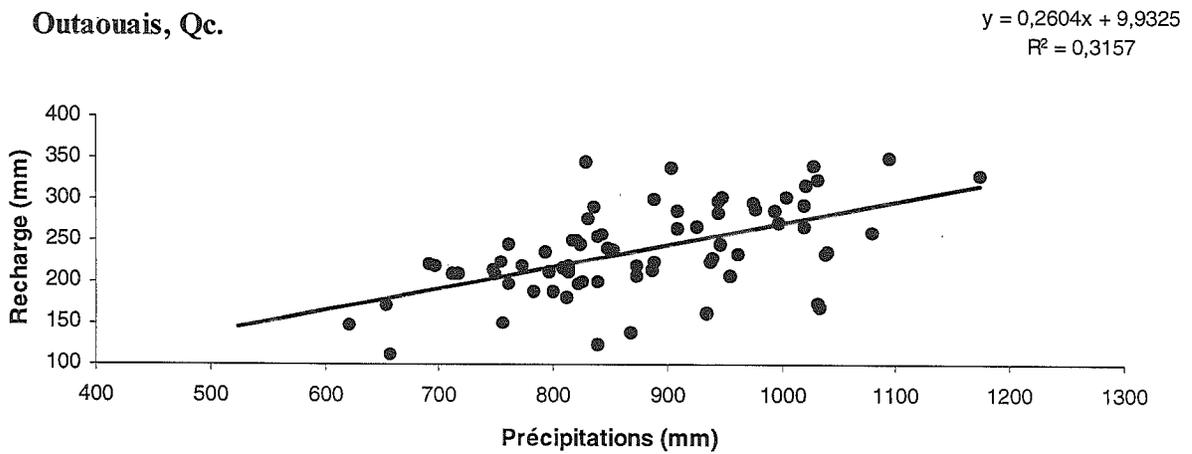
Sherbrooke, Qc.



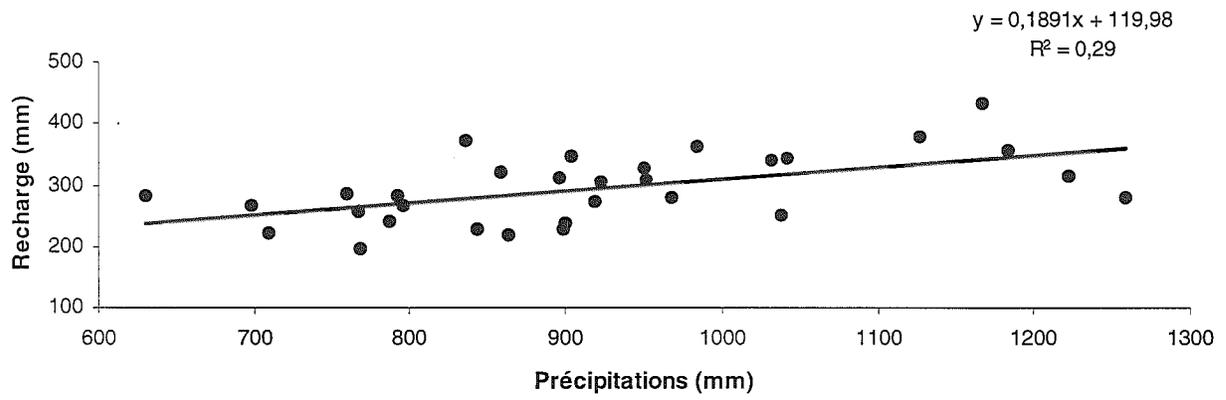
Saguenay, Qc.



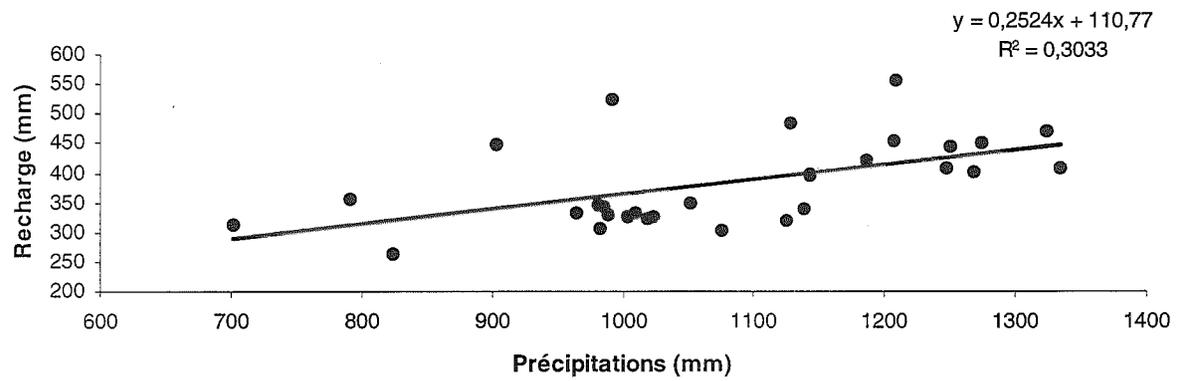
Outaouais, Qc.



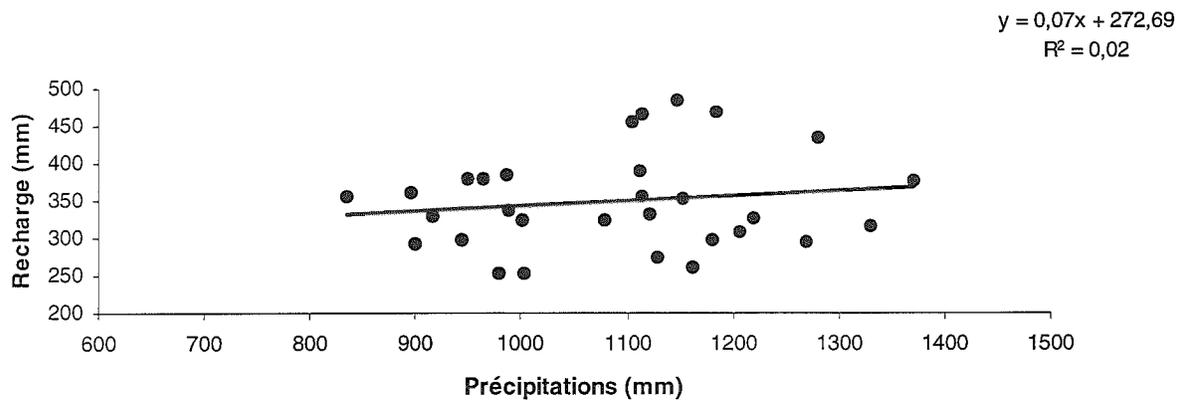
### Rimouski, Qc.



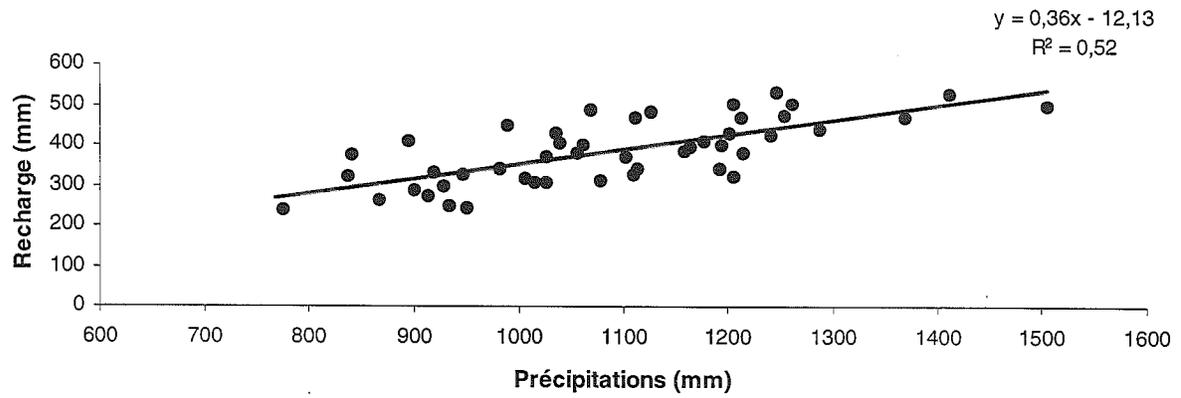
### Portneuf, Qc.



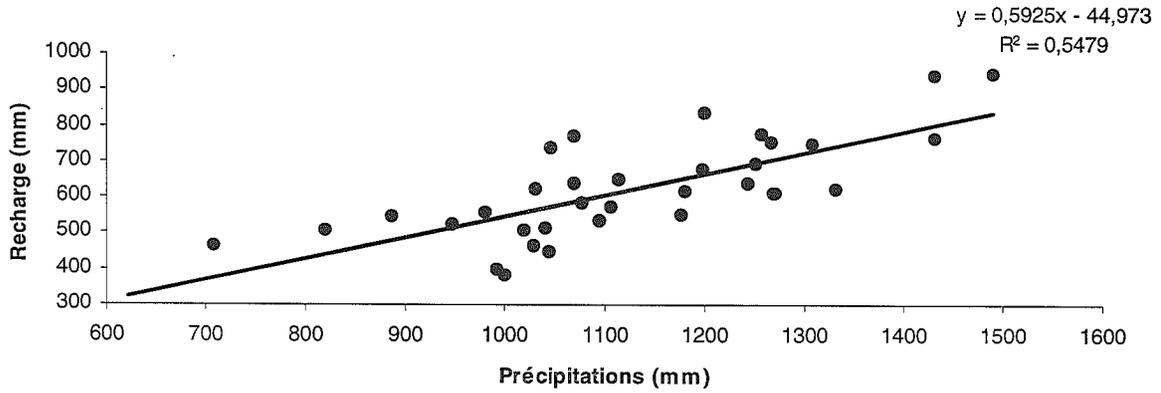
### Trois-Rivières, Qc.



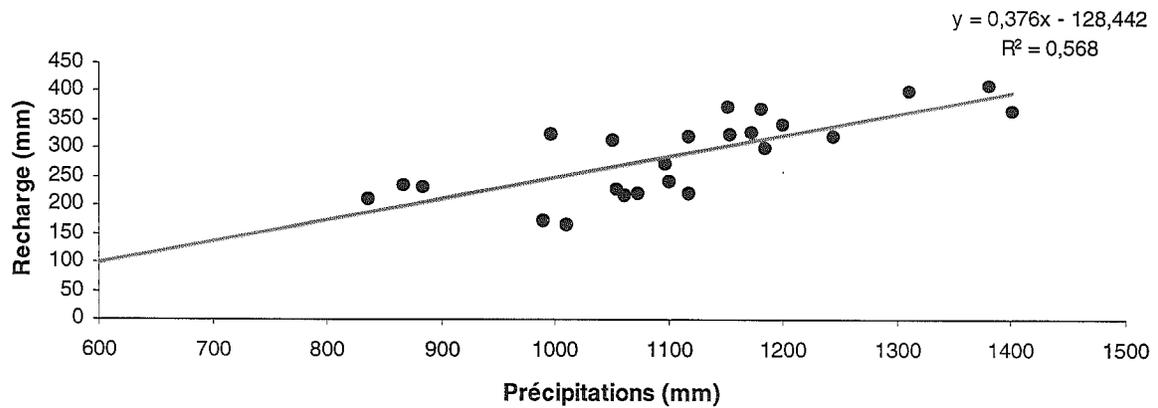
### Miramichi, N.-B.



### Sussex, N.-B.

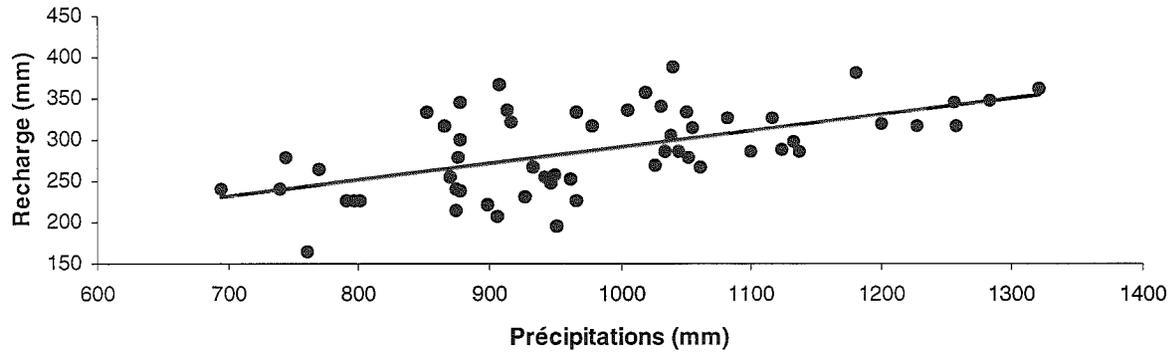


### Grand Falls, N.-B.



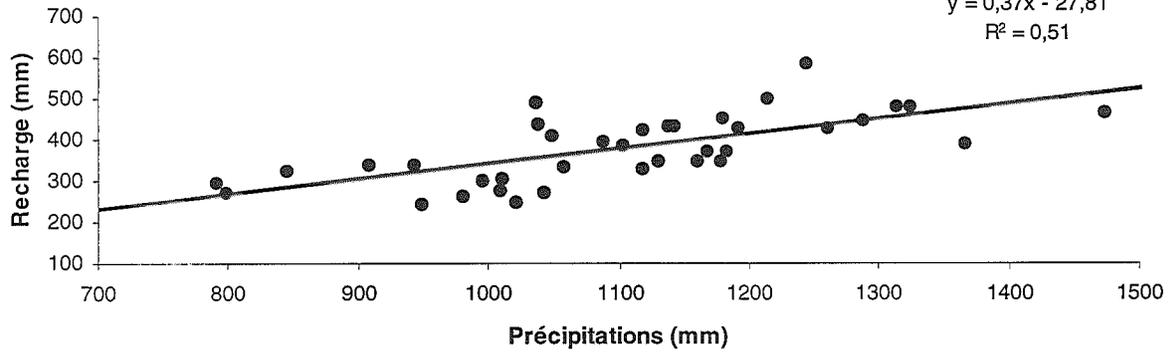
**Nepiseguit Falls, N.-B.**

$$y = 0,20x + 93,86$$
$$R^2 = 0,32$$



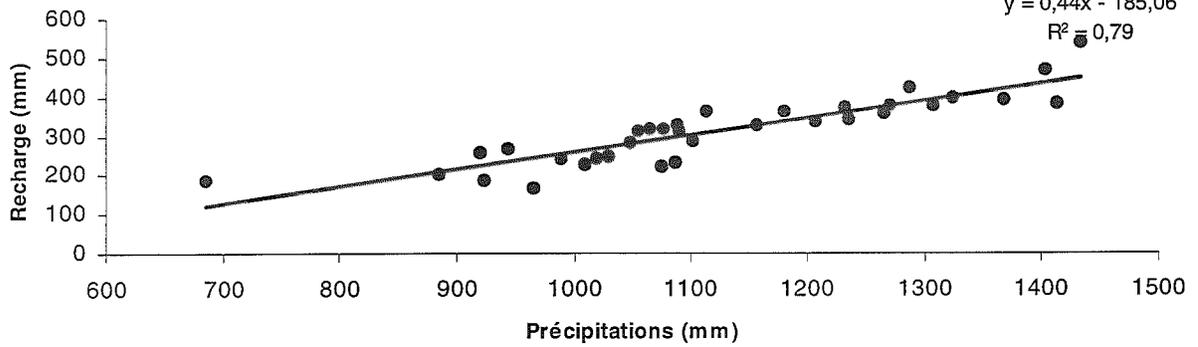
**Fredericton, N.-B.**

$$y = 0,37x - 27,81$$
$$R^2 = 0,51$$

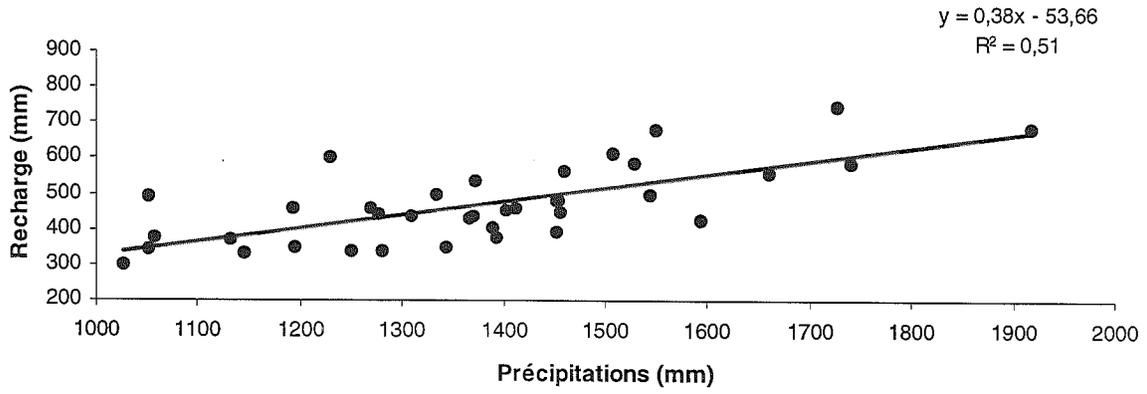


**Moncton, N.-B.**

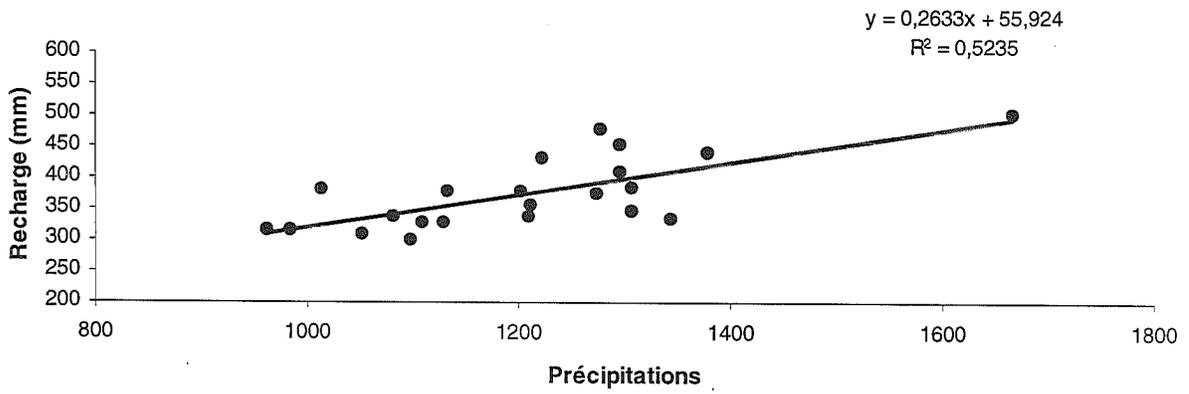
$$y = 0,44x - 185,06$$
$$R^2 = 0,79$$



**St-John N.-B.**



**Bangor, I.-P.-É.**



**O'Leary, I.-P.-É.**

