Document generated on 07/12/2025 2:47 a.m.

Géographie physique et Quaternaire

Quelques aspects statistiques de l'ensoleillement à Montréal, Québec
Some statistical aspects of sunshine in Montréal
Statistische Darstellungen der Sonnenbestrahlung in Montréal

Paul Montambault and Richard Leduc

Volume 34, Number 1, 1980

URI: https://id.erudit.org/iderudit/1000388ar
DOI: https://doi.org/10.7202/1000388ar

See table of contents

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

0705-7199 (print)
1492-143X (digital)

Explore this journal

Cite this article

Montambault, P. & Leduc, R. (1980). Quelques aspects statistiques de l'ensoleillement à Montréal, Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, *34*(1), 115–122. https://doi.org/10.7202/1000388ar

Article abstract

Daily percent of possible sunshine values for the McGill University meteorological observatory were analyzed for the period covering January 1, 1882 to December 31, 1975. A climatology for the site was obtained in the form of mean values for the years months and days. A first order Markov chain was fitted to sequences of consecutive cloudy days; Gumbel extreme value analysis was used to represent monthly longest cloudy sequences. After the calculation of intra-annual statistics on sunshine classes, long term change was analyzed; it shows a minimum in annual sunshine in 1935. This tendency is also present in the annual and intra-annual organization of sunshine classes. The long term change was compared to the one obtained from total annual precipitation series which shows a maximum at the same year.

Tous droits réservés © Les Presses de l'Université de Montréal, 1980

This document is protected by copyright law. Use of the services of Érudit (including reproduction) is subject to its terms and conditions, which can be viewed online.

https://apropos.erudit.org/en/users/policy-on-use/

érudit

This article is disseminated and preserved by Érudit.

Érudit is a non-profit inter-university consortium of the Université de Montréal, Université Laval, and the Université du Québec à Montréal. Its mission is to promote and disseminate research.

https://www.erudit.org/en/

Géogr. phys. Quat., 1980, vol. XXXIV, n° 1, p. 115-122.

QUELQUES ASPECTS STATISTIQUES DE L'ENSOLEILLEMENT À MONTRÉAL, QUÉBEC

Paul MONTAMBAULT et Richard LEDUC, respectivement, Service de l'environnement atmosphérique, 4905, Dufferin, Downsview, Ontario M3H 5T8 et Service de la météorologie, 194, av. du Saint-Sacrement, Québec, Québec G1N 4J5.

RÉSUMÉ Les observations quotidiennes de l'ensoleillement de l'observatoire météorologique de l'université McGill à Montréal ont été analysées pour la période allant du 1er janvier 1882 au 31 décembre 1975. Nous en avons dégagé une climatologie sous forme de moyennes annuelles, mensuelles et quotidiennes. Une chaîne de Markov simple a été ajustée aux séquences observées de jours nuageux consécutifs; la loi de Gumbel des valeurs extrêmes a été utilisée pour représenter les plus longues séquences nuageuses (par mois). Après avoir calculé des statistiques intra-annuelles pour les classes d'ensoleillement, nous avons analysé le changement séculaire; il révèle un minimum de l'ensoleillement annuel en 1935. Ce changement séculaire se réflète dans l'organisation annuelle et intra-annuelle des classes d'ensoleillement. Nous avons comparé ce changement à celui des précipitations totales annuelles qui montre également un maximum pendant la même année.

ABSTRACT *Some statistical aspects of sunshine in Montréal.* Daily percent of possible sunshine values for the McGill University meteorological observatory were analyzed for the period covering January 1, 1882 to December 31, 1975. A climatology for the site was obtained in the form of mean values for the years months and days. A first order Markov chain was fitted to sequences of consecutive cloudy days; Gumbel extreme value analysis was used to represent monthly longest cloudy sequences. After the calculation of intra-annual statistics on sunshine classes, long term change was analyzed; it shows a minimum in annual sunshine in 1935. This tendency is also present in the annual and intra-annual organization of sunshine classes. The long term change was compared to the one obtained from total annual precipitation series which shows a maximum at the same year.

ZUSAMMENFASSUNG *Statistische Darstellungen der Sonnenbestrahlung in Montréal.* Die täglichen Beobachtungen der Sonnenbestrahlung des meteorologischen Institutes der Universität McGill in Montréal wurden für den Zeitraum vom I. Januar 1882 bis zum 31. Dezember 1975 analysiert. Wir haben daraus eine Klimatologie in der Form von Jahres —, Monats — und Tagesdurch — schnitten ernittelt. Eine einfache Markov Kette wurde den beobachteten Sequenzen von aufeinanderfolgenden bewölkten Tagen ange passt, Gumbels Gesetz der extremen Werte wurde benutzt um die längsten Bewölkungs — sequenzen (pro Monat) darzustellen. Nachdem die Jahresstatiken der Sonnenbestrahlungsränge errechnet wurden, haben wir die sekuläre Veränderung analisiert, welche ein Minimum der jährlichen Sonnenbestrahlung für 1935 ergibt. Diese sekuläre Veränderung spiegelt sich im jährlichen und Inner-jährlichen Sonnenbestrahlungsrang ab. Wir haben diese Veränderung mit der totalen jahrlichen Niederschlagsmenge verglichen, welche ebenfalls ein Maximum für das gleiche Jahr zeigt.

INTRODUCTION

La connaissance de la climatologie d'un site consiste souvent à établir des moyennes et des normales et à rassembler et à interpréter des statistiques de températures, de précipitations, du vent, etc. Pour un certain nombre de stations, l'ensoleillement vient parfaire et compléter le profil climatologique.

Le but de la présente étude est de calculer les valeurs d'un ensemble de paramètres statistiques obtenus des données sur l'ensoleillement. Généralement, le type d'analyse et le nombre de paramètres que l'on peut évaluer à partir d'une série d'observations d'éléments météorologiques sont très nombreux. Le choix fait ici (moyenne, chaîne de Markov, persistance, changement séculaire) est loin d'être exhaustif, mais représente un aspect de la climatologie de Montréal.

Il convient de préciser ce que nous entendons par ensoleillement. Les valeurs dont nous disposons sont les rapports, exprimés en pourcentage, du nombre total quotidien d'heures de rayonnement direct au nombre d'heures du rayonnement direct potentiel pour la journée. Le nombre d'heures du rayonnement direct est mesuré par un héliographe du type Campbell-Stokes; le nombre total d'heures est obtenu en additionnant (en heures) la longueur des traces laissées lorsque les rayons focalisés du soleil carbonisent le papier enregistreur. En général, on admet que l'élévation du soleil doit être supérieure à 3 degrés pour permettre un enregistrement.

Les données dont nous nous servons s'échelonnent sur la période allant du 1er janvier 1882 au 31 décembre 1975 et ont été prises à l'observatoire météorologique de l'université McGill (45°30′N, 73° 35′O; altitude 43 m). L'héliographe est demeuré au même site de 1882 à 1960, date à laquelle il a été déplacé sur un site voisin d'environ 300 m; il se situait alors sur le toit d'un édifice, à environ 26 m du sol. En 1972, à la suite de la construction à proximité d'un édifice de 11 étages, on a déplacé l'héliographe sur le toit de ce deuxième édifice. À ce dernier emplacement, le soleil est caché par le mont Royal (altitude de 223 m) pendant environ une heure tôt en soirée en été et par la Place Ville-Marie (construite au début des années soixante) durant environ un heure tôt en matinée en hiver. Aucune correction n'a été apportée pour tenir compte de ces obstacles puisque l'héliographe a été exposé à différents horizons dont on ne possède par les caractéristiques; cet horizon a été modifié à la suite du déplacement de l'héliographe ou par la croissance de la végétation autour de celui-ci. Une correction serait nécessaire si l'on devait comparer des stations entre elles, mais ce n'est pas le cas ici.

Lorsque des normales sont calculées, il est généralement d'usage d'étudier l'homogénéité des observations avec lesquelles on calcule ces normales. Cependant, cette étude nécessite habituellement la comparaison (méthode des doubles masses) des données de deux stations rapprochées (ou de même régime climatologique), ce qui n'est pas possible ici puisque nous ne disposons pas de données (d'ensoleillement) avec lesquelles on pourrait comparer celles de l'université McGill.

Une analyse de l'homogénéité des séries de précipitations a été faite par JACQUES (1979) qui, pour McGill, a observé une cassure dans les séries en 1935 et en 1960. La dernière cassure serait attribuable au déplacement de la station et pourrait aussi se retrouver dans les séries de l'ensoleillement. Nous discuterons plus loin de la cassure de 1935.

LA CLIMATOLOGIE

LES VALEURS MANQUANTES

Les valeurs manquantes représentent un peu plus de 1% du nombre total possible d'observations et se situent en majorité dans la période avant 1920. Nous avons remplacé chacune des valeurs quotidiennes manquantes par la moyenne de la journée qui est manquante; cette moyenne a été calculée sur le nombre total d'observations disponibles. Cette méthode a l'avantage d'être facile à employer; les séries résultantes ne sont que très peu biaisées puisque le nombre de journées manquantes est très limité.

LES MOYENNES ANNUELLES, MENSUELLES ET QUOTIDIENNES

La figure 1 représente la valeur de l'ensoleillement annuel moyen de 1882 à 1975; on y trouve aussi les lignes représentant la moyenne à long terme ($\overline{x}$) et les valeurs $\overline{x} \pm \sigma$ et $\overline{x} \pm 2\sigma$ où σ est l'écart type de la série, ce qui permet de caractériser chaque année en fonction de sa déviation par rapport à la normale.

La moyenne à long terme de l'ensoleillement annuel à Montréal est de 44% avec un écart type de 4%; la variabilité ($100\ \sigma/\overline{x}$) de 11% se compare avec celle des précipitations totales annuelles à McGill qui est de 12% (LEDUC, 1977). D'après la nomenclature suggérée dans ARLERY *et al.* (1973), un peu plus de 35% des années sont anormales et on retrouve un peu plus de 13% des années anormalement basses entre 1923 et 1943. Le tableau I donne les moyennes, les écarts types et les variabilités de chaque mois.

Juillet et août sont les mois les plus ensoleillés tandis que décembre est le plus nuageux; les deux mois d'été sont aussi les moins variables tandis que décembre est

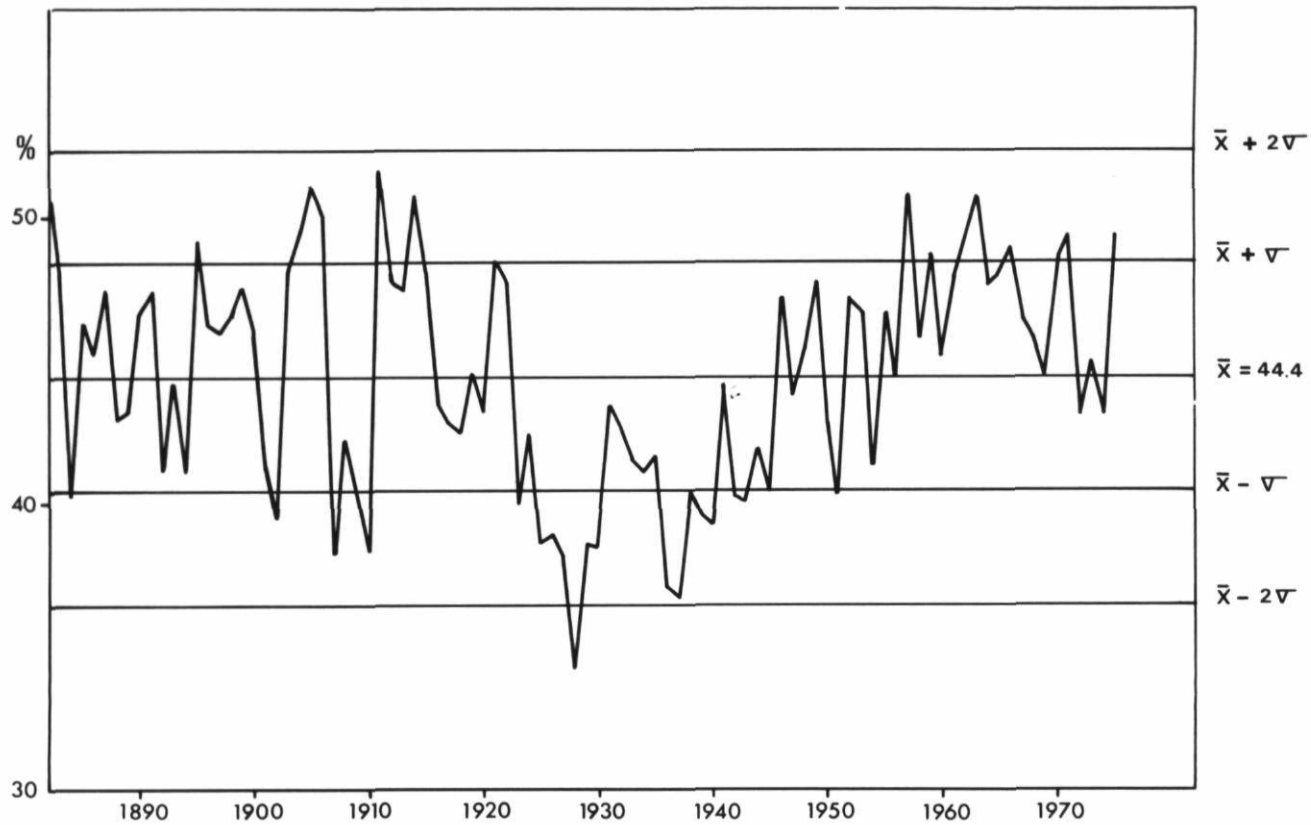

FIGURE 1. Moyennes annuelles de l'ensoleillement. *Annual mean values of sunshine.*

TABLEAU I

Moyennes mensuelles, écarts types et variabilités

	$\bar{x}$ (%)	σ (%)	Variabilités (%)
janvier	33,9	9,0	26,5
février	40,7	7,7	18,9
mars	44,0	8,9	20,2
avril	46,4	8,8	19,0
mai	50,2	8,6	17,1
juin	54,2	9,5	17,5
juillet	58,7	7,2	12,3
août	57,5	7,2	12,5
septembre	50,6	8,7	17,2
octobre	42,1	8,3	19,7
novembre	28,1	7,3	26,0
décembre	26,7	7,4	27,7

le plus variable. Cette situation s'explique par la rareté de systèmes nuageux bien organisés en été, et la plus grande variabilité hivernale serait le fait de la succession rapide de ces systèmes (POWE, 1969).

Pour certaines applications spécifiques, les moyennes mensuelles peuvent s'avérer trop grossières, et une résolution plus fine devient nécessaire; nous avons donc illustré les moyennes quotidiennes pour toute l'année (fig. 2). Tout comme dans le cas des moyennes mensuelles, on constate le minimum hivernal et le maximum estival; on remarque aussi que la descente du maximum vers le minimum s'étale sur environ 3 mois (septembre, octobre, novembre) et que la remontée prend près de 7 mois (de décembre à juin). Notons que lorsque les besoins en chauffage sont les plus grands (en janvier, sur la base du degré jour), l'ensoleillement a déjà repris sa course ascendante. Ceci s'avère intéressant dans le cas de l'exploitation d'un système à énergie solaire.

Lorsque l'on utilise les moyennes quotidiennes, il faut tenir compte de la variabilité qui est très importante dans le cas des précipitations puisque qu'elle peut atteindre jusqu'à 500% (LEDUC, 1977). Dans le cas de l'ensoleillement, la distribution en fréquence de chaque jour est moins excentrique que celle des précipitations, le caractère de cette variable météorologique étant plus continu. À titre d'exemple, nous donnons au tableau II la moyenne, l'écart type et la variabilité de quatre jours de l'année.

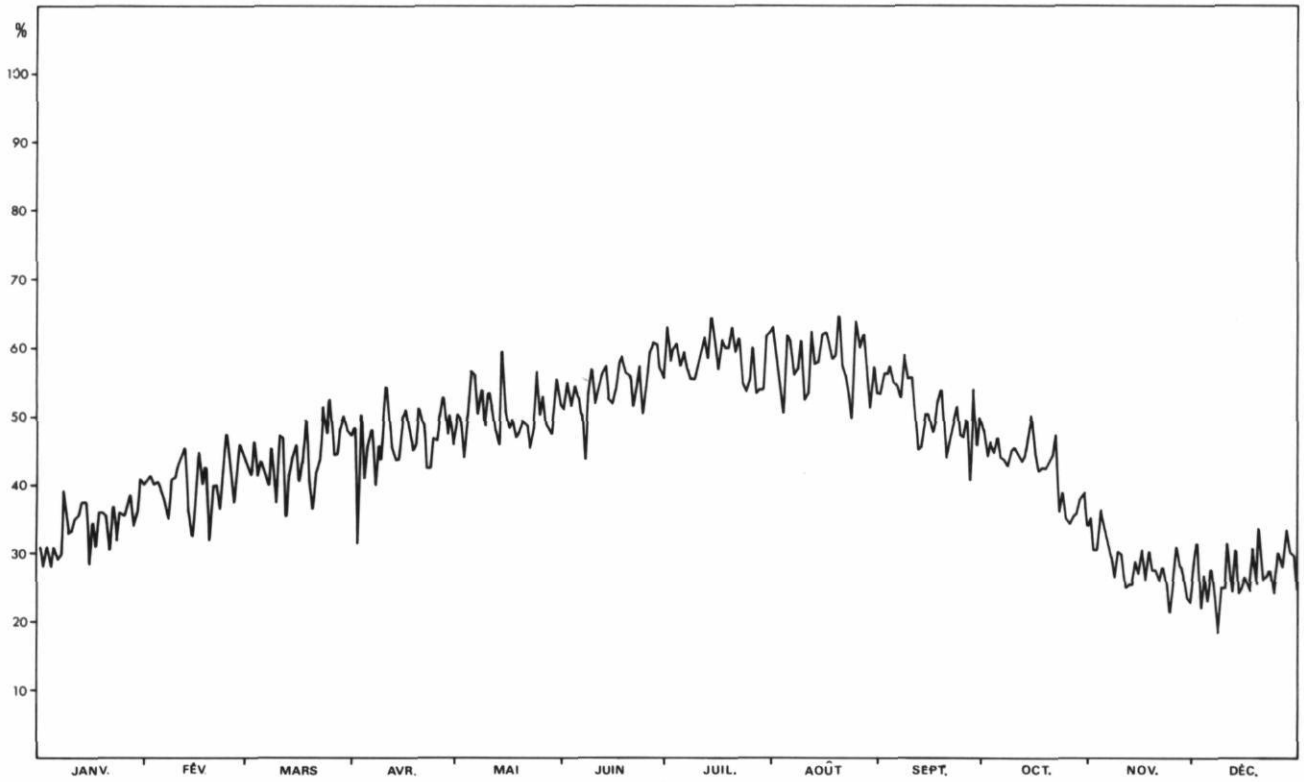

FIGURE 2. Moyennes journalières de l'ensoleillement. *Daily mean values of sunshine.*

TABLEAU II

Moyenne, écart type et variabilité de quatre journées

	x (%)	σ (%)	Variabilités (%)
1er janvier	30,8	36,3	118
1er avril	48,3	34,9	72
1er juillet	51,2	33,7	66
1er octobre	48,0	34,7	72

Les variabilités quotidiennes les plus fortes se retrouvent en hiver, mais celles-ci ne dépassent pas 150%; la confiance que l'on doit accorder à la moyenne journalière est ainsi plus grande que dans le cas des précipitations.

LA CHAÎNE DE MARKOV

En plus de représenter le climat quotidien à l'aide de moyennes journalières, il est aussi intéressant et utile d'analyser les séquences de jours ensoleillés ou nuageux. Cette analyse est possible grâce à l'application d'un modèle probabiliste comme celui de la chaîne de Markov. Les détails de la procédure utilisée pour appliquer ce modèle sont expliquées par FARAH (1970); nous en résumons les principales étapes.

Il s'agit tout d'abord de calculer la probabilité qu'un jour soit ensoleillé en tenant compte de l'ensoleillement du jour précédent. On doit donc définir deux états d'ensoleillement: ainsi, une journée sera dite ensoleillée si on y a observé 65% ou plus de l'ensoleillement potentiel et elle sera dite nuageuse dans le cas contraire. Pour cette analyse, il est inutile de tenir compte de toutes les observations enregistrées; ici seule la période allant de 1956 à 1975 a été conservée, ce qui représente un ensemble statistique suffisamment grand.

Il est nécessaire de relever sur la série des observations journalières tous les passages de jours nuageux à des jours ensoleillés, de jours ensoleillés à des jours nuageux, etc. On obtient ainsi la probabilité de passer d'un jour nuageux à un jour ensoleillé (α = 0,336) et celle de passer d'un jour ensoleillé à un jour nuageux (β = 0,503). La probabilité générale d'observer un jour nuageux est de 0,6 (celle d'un jour ensoleillé étant donc de 0,4).

On définit une séquence de jours nuageux comme T et une séquence de jours ensoleillés comme D; ainsi un cycle complet sera T + D, la séquence D se produisant immédiatement après la séquence T.

La loi de probabilité pour les séquences de jours nuageux s'énonce comme suit: le premier jour étant

nuageux (le début de la séquence), la probabilité d'un deuxième jour nuageux est de $(1-\alpha)^2$ et ainsi de suite jusqu'au dernier jour pour lequel la probabilité qu'il soit suivi d'un jour ensoleillé (fin de la séquence) sera α. Ainsi la probabilité pour une séquence de k jours sera de $(1-\alpha)^{k-1}\alpha$, le jour ensoleillé étant compté dans cette séquence. Pour vérifier cette loi, nous avons calculé le nombre de séquences de longueur k pour k = 1, ..., 26 (26 étant le maximum observé) que nous avons comparé aux séquences observées. Un test du χ^2 au niveau de 90% indique une bonne concordance entre les observations et les valeurs calculées. La chaîne de Markov est donc appropriée pour décrire les probabilités de jours nuageux consécutifs. FARAH (1970) calcule la longueur moyenne des périodes nuageuses et ensoleillées qui sont respectivement de $1/\alpha$ et $1/\beta$; le cycle moyen dure 5 jours dont 3 sont nuageux et 2 ensoleillés.

LA PERSISTANCE

On peut caractériser la persistance à l'aide de l'analyse des valeurs extrêmes dont les détails se retrouvent dans ARLERY *et al.* (1973) et dans BESSEMOULIN (1973). Pour chaque mois de la période 1956-1975, nous avons relevé le nombre maximal de jours nuageux consécutifs et nous en avons tiré une matrice de 20 x 12 valeurs.

La loi de probabilité régissant la distribution des valeurs extrêmes s'écrit $F(x) = \exp(-\exp-(ax+b))$ où F(x) est le probabilité que la variable x ne soit pas dépassée et où les coefficients a et b ont été calculés, à chaque mois, à l'aide d'une régression linéaire. Cette dernière se calcule entre les observations et les fréquences assignées obtenues avec la formule m/21 où m = 1, ..., 20 (m est le rang de la valeur). Pour chaque mois, nous avons calculé les valeurs de F(x) pour x = 1,2,..., 24 grâce auxquelles nous avons pu tracer les lignes d'équiprobabilités; les périodes les plus ensoleillées sont représentées par des pics (fig. 3). L'utilisation d'un tel graphique peut être utile au moment de la conception d'un système de chauffage solaire surtout en ce qui a trait à l'entreposage de l'énergie.

Nous croyons qu'il faille indiquer clairement la différence entre cette analyse et celle qui a été effectuée à la section précédente. Le schéma probabiliste de Markov nous permet de calculer la probabilité d'observer une séquence de k jours successifs nuageux sans distinction intra-annuelle. Dans le cas des valeurs extrêmes, la loi de probabilité nous permet de calculer la probabilité d'observer *au plus* k jours nuageux consécutifs pour chaque mois de l'année.

LES CLASSES D'ENSOLEILLEMENT

En plus d'évaluer les moyennes mensuelles de l'ensoleillement, il est utile de chercher à connaître la

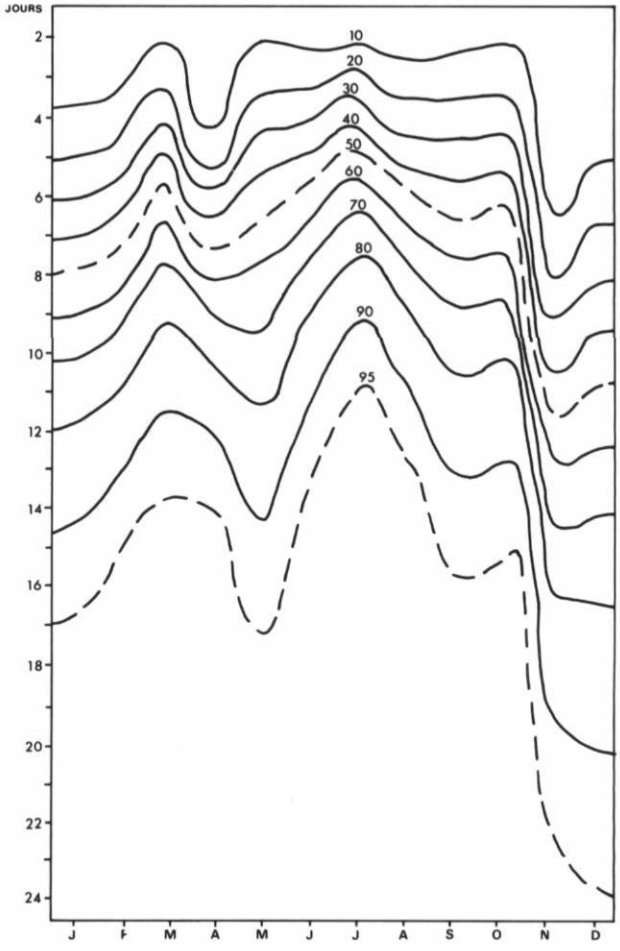

FIGURE 3. Probabilités (%) mensuelles d'un maximum de x jours nuageux consécutifs.
Probabilities (%) of a maximum of x consecutive cloudy days in a month.

composition interne moyenne de chaque mois. Dans ce but, nous avons défini sept classes d'ensoleillement en nous basant sur celles utilisées par YACOWAR *et al.* (1978) qui en ont fixé les limites d'après une enquête effectuée auprès de prévisionnistes; nous y avons ajouté deux classes extrêmes (0 et 99%). On retrouve au tableau III le nombre de jours moyens de chaque classe pour chaque mois ainsi que leurs écarts types.

Les journées parfaitement claires sont assez rares puisque l'on n'en observe qu'une seule en juin et qu'une seule en juillet. Lorsque les trois premières classes sont combinées, on constate qu'à peine plus de 15 jours en juillet et août connaissent 65% et plus d'ensoleillement; cette quantité diminue très rapidement durant l'automne pour se fixer à seulement 5 jours et demi par mois en novembre et décembre, mois pendant lesquels les besoins en chauffage sont importants. Les

TABLEAU III

Paires moyennes-écarts types pour chacune des classes et pour chaque mois

Ensoleillement		janv.	fév.	mars	avril	mai	juin	juil.	août	sept.	oct.	nov.	déc.
	Ens. =99%	0,2-0,6	0,5-1,0	0,2-0,6	0,6-1,2	0,8-1,4	1,3-1,9	1,3-1,6	0,7-1,1	0,2-0,7	0,1-0,4	0,1-0,5	0,1-0,3
85%	< Ens. ≤99%	3,9-2,7	4,4-2,2	5,8-3,1	5,7-2,9	6,2-2,6	6,3-3,0	7,2-2,8	7,6-2,9	6,1-3,6	4,7-2,7	2,5-1,8	2,2-2,1
65%	< Ens. ≤85%	4,4-2,4	4,3-2,0	5,6-2,4	5,2-2,4	5,8-2,3	5,8-2,2	7,1-2,2	7,2-2,8	6,7-3,0	5,9-2,4	2,9-1,6	3,7-2,2
35%	< Ens. ≤65%	5,0-2,4	5,6-3,1	6,2-4,4	6,2-2,4	7,3-2,7	7,4-2,7	7,9-2,8	7,6-2,6	7,1-3,2	6,4-2,8	5,1-2,0	4,3-1,9
15%	< Ens. ≤35%	3,6-2,4	3,1-1,6	3,3-1,7	3,5-1,8	3,8-1,9	3,9-2,1	3,7-2,1	3,3-1,8	3,6-1-9	4,0-2,0	4,3-2,9	4,6-5,0
1%	< Ens. ≤15%	3,0-1,9	2,5-1,5	3,3-1,7	3,5-2,0	3,4-2,2	2,9-1,7	2,4-1,5	2,7-1,9	2,9-1,8	3,7-1,9	4,1-2,0	3,4-1,8
	Ens. = 0%	10,9-3,7	7,7-3,1	6,7-3,1	5,2-2,6	3,7-2,5	2,3-1,9	1,4-1,2	1,9-1,5	3,7-2,1	6,1-2,8	10,9-3,6	12,7-4,3

journées complètement nuageuses sont très fréquentes en hiver et atteignent leur minimum durant l'été.

LE CHANGEMENT SÉCULAIRE

Lorsque de longues séries d'observations sont disponibles, il est intéressant d'en examiner les changements séculaires. Pour ce faire, on utilise un filtre statistique. HOLLOWAY (1958) en a décrit les principes d'utilisation. Il s'agit de calculer des moyennes mobiles obtenues de la série par l'application de poids dont les valeurs ont été déterminées selon le but fixé. Le filtre que nous employons ici a déjà été utilisé par GARGETT (1965) dans le cas de séries chronologiques de précipitations et de températures à Toronto. Il s'agit d'un filtre passe-bas de 39 poids qui atténue fortement les oscillations de périodes inférieures à 25 ans. Ainsi, la série résultante, ou série filtrée, est considérée comme la tendance de base de la série originale.

1) La série des moyennes annuelles

Nous avons appliqué le filtre passe-bas de 39 poids à la série des valeurs annuelles (fig. 1) afin d'obtenir la tendance de la série (fig. 4a). Un minimum est apparent en 1935; la variation (du minimum au maximum) de la série filtrée est près de 11%. La figure 4b donne la tendance des précipitations totales annuelles observées à McGill obtenue après l'application du même filtre (LEDUC, 1977). On constate qu'au maximum principal des précipitations totales correspond le minimum d'ensoleillement. La comparaison directe de l'ensoleillement et des précipitations doit se faire avec attention. Ainsi, la présence de nuages ou d'autres phénomènes (comme la brume, la brume sèche) n'implique pas nécessairement qu'il y a des précipitations. Cependant, cette constatation ne contredit pas la relation observée entre les deux tendances puisqu'il est raisonnable de supposer, en excluant les précipitations convectives d'été, que les précipitations ont autant de chances de se produire le jour que la nuit. De plus, la taille de l'échantillon utilisée assure que toutes les situations sont prévues. Ainsi, on décèle ici une relation précipitation-ensoleillement.

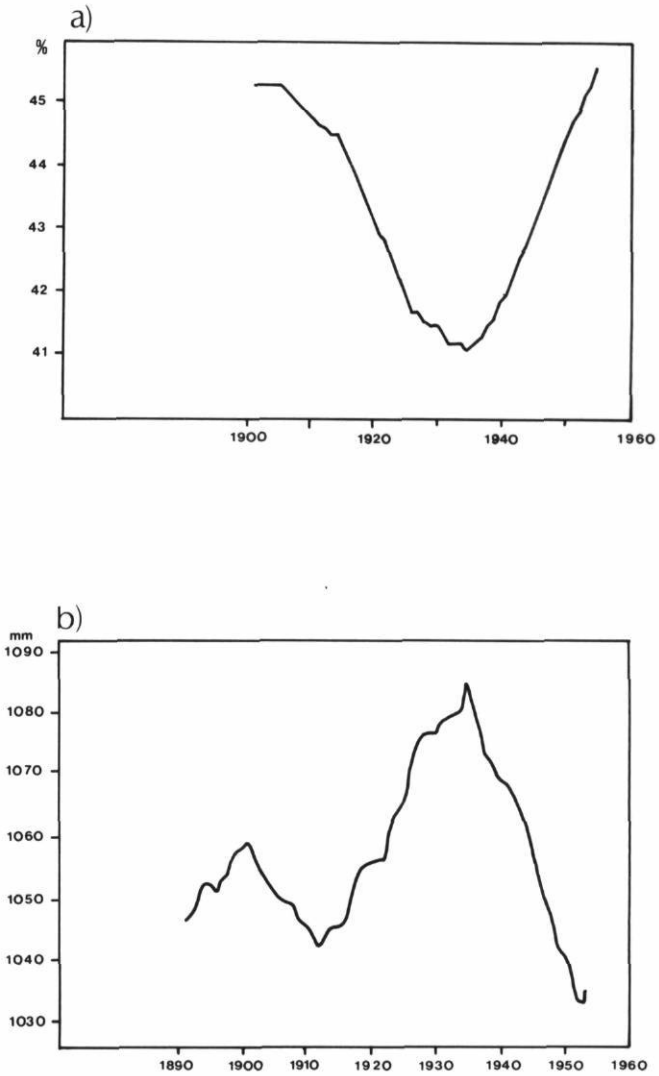

FIGURE 4. a) Tendance de l'ensoleillement annuel; b) tendance des précipitations totales annuelles, tiré de LEDUC (1977).

a) Trend of annual sunshine; b) trend of total annual precipitation, after LEDUC (1977).

2) Les séries de classes d'ensoleillement

On a vu précédemment comment s'organise le régime des classes d'ensoleillement. Un changement séculaire de l'ensoleillement pourra se refléter dans le régime des classes. Nous avons regroupé les sept classes initiales en trois classes [0–35% (I), 35-65% (II), 65-99% (III)] pour lesquelles nous avons obtenu les séries de fréquences totales annuelles. Ainsi, la classe I représente des jours «nuageux», la classe II, des des jours «variables» et la classe III, des jours «ensoleillés». Nous avons aussi, pour 4 mois de l'année (janvier, avril, juillet et octobre respectivement) obtenu les séries des fréquences de chacune des années; nous disposons donc de 4 x 3 séries de 94 valeurs.

En analysant les tendances des fréquences totales annuelles de chaque classe, on constate que les classes I et III sont complémentaires et que leurs tendances respectives concordent avec celle de l'ensoleillement annuel (c'est-à-dire minimum de la classe I en 1935 et maximum de la classe III en 1935). Quant à la classe II, sa tendance indique une décroissance rapide de 1910 à 1925 environ, année à laquelle la tendance se stabilise. L'augmentation de l'ensoleillement après 1935 a donc été provoqué par une augmentation du nombre de jours ensoleillés (et une diminution du nombre de jours nuageux) sans que la classe intermédiaire ne subisse de changement. Nous avons regroupé, au tableau IV, les variations, en pourcentage, des tendances (du minimum au maximum de la série filtrée) mensuelles et annuelles pour chaque classe.

TABLEAU IV

Variations mensuelles et annuelles des tendances des classes en pourcentage

Classe	janvier	avril	juillet	octobre	annuelle
I (0-35)	21	36	12	23	16
II (35-65)	15	21	14	17	10
III (65-99)	9	39	22	15	14

On remarque que le mois d'avril est celui pour lequel les tendances sont les plus marquées pour chacune des classes. Un examen de la forme des tendances montre qu'elles sont toutes généralement en accord avec celles de la série des valeurs annuelles. Cependant, les maxima et les minima sont tous plus étirés et sont déphasés pour se situer en général quelque part entre la fin des années 20 et le tout début des années 40. On ne doit pas s'attendre à des concordances parfaites puisque les relations entre les valeurs mensuelles et annuelles ne sont pas nécessairement directes.

RÉSUMÉ ET CONCLUSION

Nous avons examiné quelques aspects statistiques de l'ensoleillement à Montréal en utilisant les observations enregistrées à l'observatoire de l'université McGill de 1882 à 1975. Nous avons calculé des moyennes journalières, mensuelles et annuelles afin de dégager les normales de l'ensoleillement à Montréal. Nous avons montré que la loi de probabilité de Markov décrit adéquatement les séquences des jours nuageux (sans distinction intra-annuelle). L'analyse des valeurs extrêmes a été utilisée afin de calculer les probabilités de séquences nuageuses de chaque mois.

La série d'observations dont nous disposons étant de longue durée, il a été possible d'effectuer une analyse des changements séculaires qui montre que la tendance de l'ensoleillement annuel fut à son minimum en 1935. Afin de mieux connaître la structure de ce changement, nous avons formé des classes d'ensoleillement pour lesquelles nous avons obtenu le changement séculaire sur une base annuelle et pour quatre mois de l'année. Sur la base annuelle, nous observons un accord avec l'ensoleillement; pour les mois que nous avons choisis, le changement le plus fort se manifeste en avril. La recherche des causes responsables des changements séculaires nécessite des études qui dépassent le cadre de ce travail. Nous croyons cependant pouvoir émettre quelques hypothèses à ce sujet.

Au niveau local, l'urbanisation entraîne une augmentation de la pollution et du trouble atmosphérique, ce qui éventuellement provoque une diminution de l'ensoleillement direct. Nous avons constaté que tel n'est pas le cas à Montréal puisque la tendance est à la hausse après 1935. Un autre processus serait donc capable d'annuler l'effet direct de l'urbanisation sur l'ensoleillement.

L'urbanisation peut provoquer des changements du régime des précipitations, par exemple, l'assèchement de l'air ou une modification de la circulation à l'échelle méso-météorologique causé par l'île de chaleur. Ainsi, la diminution des précipitations pourrait augmenter l'ensoleillement à l'échelle urbaine. Cependant, l'effet de la présence de la ville sur le régime des précipitations peut être contraire puisque les précipitations pourraient augmenter à la suite de l'augmentation des noyaux de condensation ou grâce à une convection facilitée. Le régime des précipitations peut aussi être altéré par un changement climatique se manifestant à une échelle régionale ou globale entraînant par la même occasion un changement de l'ensoleillement. Un examen qualitatif des séries des valeurs annuelles des précipitations totales, de la pluie et de la neige pour Saint-Jérôme, Les Cèdres, Sainte-Anne-de-Bellevue suggère une diminution régionale des précipitations après les années 1930-1940 (LEDUC, 1977). Cependant,

l'étude des séries d'autres stations est nécessaire avant de régionaliser le changement séculaire de l'ensoleillement observé à l'université McGill.

BIBLIOGRAPHIE

ARLÉRY, R., GRISSOLET, H. et GUILMET, B. (1973): *Climatologie: Méthodes et pratiques,* Paris, Gauthier-Villars, 434 p.

BESSEMOULIN, J. (1973): Sur la statistique des valeurs extrêmes, *Monographie n° 29 de la Météorologie nationale,* 22 p.

FARAH, A. A. (1970): Analyse statistique des séquences des jours pluvieux à Beyrouth (suivant les deux modèles de Markov et de Polya), *La Météorologie,* Sér. 5, n° 5, p. 79-97.

GARGETT, A. (1965): *Long Term Fluctuations in the Toronto Temperature and Precipitation Record,* Dept. of Transport, Meteorol. Branch, Cir. 4199, TEC 559, 12 p.

HOLLOWAY, Jr., J. L. (1958): Smoothing and Filtering of Time Series and Space Fields, *in Advances in Geophysics 4*, New York, Academic Press, p. 351-388.

JACQUES, G. (1979): *Étude d'homogénéité des séries chronologiques de précipitations sous forme de pluie,* Min. des Richesses naturelles, Serv. de la Météorologie, 68 p.

LEDUC, R. (1977): *The Evolution of Montreal's Precipitation: Climate,* Montréal, McGill Univ., thèse M. Sc., 155 p. (non publ.).

POWE, N. W. (1969): Le climat de Montréal, *Études climatologiques n° 15,* Serv. de l'environnement atmosphérique, 51 p.

YACOWAR, N., GARAND, L. et HOUDE, M. (1978): Percent of Possible Sunshine: A Verification Tool; A New Forecast Parameter, *Bull. American Meteorol. Soc.,* vol. 59, p. 581-584.