

Climatological Bulletin

Vol. 20, No. 3, October/Octobre 1986

Bulletin climatologique



Canadian Meteorological
and Oceanographic
Society

La Société Canadienne
de Météorologie et
d'Océanographie

Information for Contributors and Subscribers

As a publication of the Canadian Meteorological and Oceanographic Society, the CLIMATOLOGICAL BULLETIN provides a medium of information on climatology. The Editorial Board gives special encouragement to the submission of manuscripts on applied climatology (e.g., agriculture, commerce, energy, environment, fisheries, forestry, health, recreation, transportation, and water resources), climatic change and variability, climate impact studies, climate model applications (including physical climatology), and regional studies (including ocean areas). It is published with the aid of a grant from the Government of Canada through the Natural Sciences and Engineering Research Council.

Authors may submit their manuscripts to "Articles", "Research Notes" or "News and Comments". This should be indicated in the cover letter accompanying the manuscript. Articles and Notes are independently reviewed by at least two anonymous referees. News or comments are reviewed by the Editor in consultation with the Editorial Board. Manuscripts are accepted in either English or French. An abstract (in both English and French) is required for Articles and Notes.

Contributors should submit manuscripts to Stewart J. Cohen, Editor, CLIMATOLOGICAL BULLETIN, Canadian Climate Centre, 4905 Dufferin St., Downsview, Ontario, M3H 5T4. All manuscripts should be typed double spaced on one side of good quality white paper, 28 cm x 21.5 cm, or its nearest equivalent. The abstract, list of references, tables, and a list of figure captions should be typed doubled spaced on separate sheets. Comments (including book reviews and opinions) and news items should not exceed 1 500 words. Furnish an original and three copies if possible, in the order listed below.

TITLE PAGE should include the full names of author(s), and professional affiliation(s).

THE ABSTRACT should be less than 250 words, and typed on a separate page.

THE TEXT of longer contributions should be typed double spaced on numbered pages, and divided into sections, each with a separate heading and numbered consecutively. The section heading should be typed on a separate line.

ACKNOWLEDGEMENTS are typed on a separate sheet immediately following the text.

If FOOTNOTES are required, they should be typed, double spaced, on a separate sheet under the heading "Notes" at the end of the text.

REFERENCES should be arranged alphabetically by senior author's last name. The text citation should consist of name(s) of the author(s) and the year of publication, for example Jones (1975) or (Jones, 1975). When there are two or more cited publications by the same author in the same year, distinguishing letters a, b, etc., should be added to the year. A reference to "in press" implies that the paper has been accepted for publication. Titles of periodicals should be given in full.

FIGURE LEGENDS must be provided for each figure, and should be typed together, double spaced, on a separate sheet.

ILLUSTRATIONS should be numbered sequentially. Original drawings, lettering, and symbols should be large enough so that after reduction, the smallest characters will be at least 1.5 mm high.

Each TABLE should be numbered sequentially. Type all tables double spaced on separate sheets.

Authors should use the International System of units, but may show other units in parentheses. Authors should provide instructions in the margin for any special type required (Greek letters, capitals, bold face, etc.).

Page charges are not levied against the author. Voluntary contributions are appreciated and will entitle the author to 25 free reprints.

Correspondence regarding Society affairs, membership, Institutional subscriptions and back issues of the journal should be directed to the Corresponding Secretary, Canadian Meteorological and Oceanographic Society, Suite 805, 151 Slater Street, Ottawa, Ontario, K1P 5H3. Telephone (613) 237-3392.

Renseignements pour les collaborateurs et les abonnés

Publication de la Société canadienne de météorologie et d'océanographie, le Bulletin climatologique offre un moyen d'information sur la climatologie. Le comité de rédaction encourage en particulier la soumission de manuscrits sur la climatologie appliquée (comme l'agriculture, le commerce, l'énergie, l'environnement, la pêche, la sylviculture, la santé, les loisirs, les transports, et les ressources en eau), les changements et la variabilité du climat, la prospective climatologique, les applications des modèles du climat (inclus la climatologie physique), et les études régional (inclus les océans). Il est publié grâce à une subvention accordée par le gouvernement canadien par l'intermédiaire du Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie.

Les auteurs peuvent choisir de soumettre leurs manuscrits aux "Articles", "Notes de Recherches", ou "Nouvelles et Commentaires". Ils doivent l'indiquer sur la lettre d'accompagnement du manuscrit. Les articles de recherche et les "Notes" sont indépendamment soumis à l'examen d'au moins deux appréciateurs anonymes. Le rédacteur en chef examine les "Nouvelles et Commentaires" conjointement avec le comité de rédaction. On accepte les articles soit en français, soit en anglais. Il faut envoyer un résumé, de préférence en français et en anglais.

Les collaborateurs sont priés de soumettre leurs manuscrits à Stewart J. Cohen, rédacteur en chef, Centre climatologique canadien, 4905 rue Dufferin, Downsview, Ontario, Canada M3H 5T4. Il faut dactylographier tous les manuscrits à double interligne, sur un côté d'un papier blanc de bonne qualité, de 28 sur 21,5 cm ou des dimensions les plus rapprochées. Il faut dactylographier à double interligne, sur des feuilles à part, le résumé, la liste des références, les tableaux et la liste des légendes. Les commentaires, les critiques, les opinions et les informations ne doivent pas dépasser 1 500 mots. Fournir l'original et, si possible, trois copies, selon la disposition suivante:

LA PAGE DE TITRE doit comprendre: nom, prénoms des auteurs, ainsi que les affiliations professionnelles.

LE RÉSUMÉ, dactylographié sur une page à part, ne doit pas compter plus de 250 mots.

LE TEXTE, Il faut taper à double interligne, sur des pages numérotées, le texte des articles plus longs et le diviser en sections, chacune dotée d'une en-tête à part et numérotée dans l'ordre. Il faut dactylographier l'en-tête de section sur une ligne à part.

LE REMERCIEMENTS doivent être dactylographiés sur une page à part, après le texte.

LES NOTES DE BAS DE PAGE doivent être dactylographiées à double interligne, sur une feuille à part, au-dessous de l'en-tête "Notes", à la fin du texte.

LES RÉFÉRENCES doivent être disposées dans l'ordre alphabétique, d'après le nom de l'auteur principal. Les citations doivent comprendre le ou les noms du ou des auteurs et l'année de publication, comme Jones (1975) ou (Jones, 1975). Si l'on cite deux ou plusieurs publications du même auteur pendant la même année, il faut ajouter à l'année des lettres qui permettent de les différencier, comme a, b, etc. La mention "à l'impression" implique qu'on a accepté de publier la communication. Il faut indiquer les titres des périodiques en entier.

LES LÉGENDES: elles sont requises pour chaque figure. On dactylographiera ces légendes ensemble, à double interligne, sur une feuille à part.

LES ILLUSTRATIONS doivent être numérotées dans l'ordre. L'original des dessins, des caractères et des symboles doit être assez grand pour que, après réduction, le caractère le plus petit mesure au moins 1,5 mm de haut.

LES TABLEAUX doivent être numérotés dans l'ordre. La dactylographie pour tous les tableaux doit être à double interligne sur des feuilles à part.

Les auteurs doivent utiliser le système international de mesure, mais ils peuvent indiquer d'autres mesures entre parenthèses. Les auteurs doivent porter dans la marge des instructions pour tout caractère spécial voulu (lettres grecques, majuscules, caractères gras, etc.).

On ne fait pas payer de pages à l'auteur. Tout don sera grandement apprécié et donnera droit à l'auteur à 25 tirés à part gratuits.

La correspondance concernant les activités de la Société, les souscriptions des membres et des institutions et les numéros déjà parus, devrait être adressée au Secrétaire-correspondant, Société canadienne de météorologie et d'océanographie, Suite n° 805, 151 rue Slater, Ottawa (ONT.) K1P 5H3. Téléphone: (613) 237-3392.

Climatological Bulletin Bulletin climatologique

Vol. 20, No. 3, October/Octobre 1986

2 FOREWORD / AVANT-PROPOS

ARTICLES

- 3 La régionalisation des climats thermiques du sud du Yukon
Daniel Lagarec
- 21 The Climatology of Sea-Breezes in the Lower Fraser Valley, B.C.
D.G. Steyn and D.A. Faulkner

NOTES

- 40 Fluctuations thermiques et héliométriques hivernales au Québec
(1945-1979)
André Hufty

NEWS AND COMMENTS / NOUVELLES ET COMMENTAIRES

- 49 Atlantic Region Climate Workshop
Peter Dzikowski
- 50 Canadian Association of Geographers Annual Meeting, 1986
Patti Papirnik
- 51 Agrometeorological Technical Session at the Agricultural Institute
of Canada Conference, 1986
Elaine Wheaton and D. Murray Brown
- 53 Alberta Climate Research and Monitoring Project Catalogue
Bonnie L. Magill
- 54 EMPLOYMENT ANNOUNCEMENT

BOOK REVIEWS / CRITIQUES DES LIVRES

- 55 Great Lakes Climatological Atlas, edited by Andrej Saulesleja
Wayne Wendland
- 57 World Survey of Climatology 1A - Heat Balance Climatology, by
A. Kessler, edited by O. Essenwanger
Wayne R. Rouse

ISSN 0541-6256

Editor / Rédacteur en chef: S.J. Cohen

Associate Editors / Rédacteurs associés:

R.B.B. Dickison	J.R.N. Lazier	D.W. Phillips	S. Tabata
A. Hufty	G.R. McBoyle	J.M. Powell	E.E. Wheaton

Foreword / Avant-Propos

In Volume 20 Number 2, I reported on the grant that *Climatological Bulletin* had received from the Natural Sciences and Engineering Research Council to help offset our operating costs. At the annual CMOS Congress held last June in Regina, CMOS Council approved the establishment of *voluntary page charges for research articles and notes*, submitted after Volume 20 Number 3 (this issue) is published. All other submissions, such as news, comments, book reviews, etc., are not affected. The voluntary charges are necessary so that CMOS can keep subscription prices at present levels. Authors who pay the voluntary charge will receive 25 free reprints. This policy is comparable to that of *Atmosphere-Ocean*, and is printed in the Information for Contributors.

At this time, I'd like to extend my sincere thanks to two Editorial Board members whose terms have expired, Dave Phillips and John Powell. Both individuals were also associated with the interim board which kept the *Bulletin* operating from 1982–1984 during the move from McGill University to CMOS. New appointees will soon be announced by CMOS Council.

Stewart J. Cohen

La régionalisation des climats thermiques du sud du Yukon

Daniel Lagarec

Département de Géographie

Université d'Ottawa

[Manuscrit reçu le 31 octobre 1985; révisé le 16 mai 1986]

RÉSUMÉ

Les caractéristiques thermiques du climat du Sud du Yukon sont étudiées par l'analyse en composantes principales de 29 variables pour 27 stations situées entre 60 et 65 degrés de latitude Nord et entre 29 et 141 degrés de longitude Ouest. La matrice originale a été réduite à 3 composantes principales expliquant 92% de la variance. Le groupement des notes factorielles obtenues a permis la régionalisation de l'espace étudié. Dans un premier temps après l'élimination de Klondike et Keno Hill trop différents, 3 sous-ensembles sont formés dont un principal de 19 stations qui est formé de 3 groupes plus petits. A chaque étape de la procédure, les composantes 1 et 3 sont les plus discriminantes. Au total, 5 sous-ensembles homogènes ont été formés.

L'apparente complexité de la structure spatiale du champ de températures résulte du comportement des gradients saisonniers. Pendant les saisons de transition, les températures décroissent à la fois avec la latitude et l'altitude alors qu'en été et en hiver la présence d'inversions thermiques parfois très localisées est un facteur important d'hétérogénéité.

SUMMARY

A study of thermal characteristics of the climate of Southern Yukon has been performed through a principal component analysis of 29 variables for 27 stations located between 60 and 65 degrees North and between 129 and 141 degrees West. The original matrix has been reduced to 3 components taking into account 92% of the variance which have been used for a cluster analysis. After discarding Klondike and Keno Hill which are poorly related to the others, 3 sets were formed including a main one of 19 stations resulting from the clustering of 3 smaller ones. For each step, components 1 and 3 were the most discriminant. In the end, 5 homogenous sub-sets or areas were defined.

The apparent complexity of temperature's spatial structure results from the behavior of seasonal gradients. During transition seasons, temperatures decrease both with latitude and altitude, while in summer and in winter, thermal inversions sometimes affecting only small areas are an important factor of heterogeneity.

INTRODUCTION

Le climat de l'Ouest Canadien et de l'Alaska est conditionné par le comportement d'une grande cellule de basse pression subpolaire, la dépression des Aléoutiennes, pendant occidental de la dépression d'Islande, qui s'étend vers l'Est jusqu'au Golfe d'Alaska pendant les neuf mois les plus froids de l'année et se déplace vers le Nord pour s'installer sur l'Alaska en été. Elle est alors remplacée sur le Golfe par un système de haute pression qui se renforce en juillet et peut alors s'étendre jusque dans la partie méridionale de l'Alaska et du Yukon. Ce renversement d'influence se traduit par une forte variation de la fréquence des masses d'air arctique entre 60 et 65°N dans le sud du Yukon sur le versant oriental des Rocheuses (Bryson et Hare, 1974).

D'après les cartes de Bryson et Hare, le Yukon est véritablement coupé en deux vers le 65° parallèle: au Nord l'influence de l'air arctique dure plus de 6 mois et au Sud elle diminue jusqu'à 1 ou 2 mois vers le 60° parallèle, la transition entre les 2 zones étant très brutale.

Plus récemment, Wendland et Bryson (1981) dans leur étude des masses d'air de l'hémisphère nord modifient sensiblement cette image principalement en réduisant à 5 mois l'influence des masses du Nord Pacifique dans la partie méridionale et en introduisant une masse Klondike hivernale d'une durée d'environ 3 mois centrée sur la frontière Yukon-Alaska.

Notre objectif est de déterminer comment se distribuent spatialement les différentes influences et quel est leur impact sur les caractéristiques thermiques du Sud du Yukon entre les 60° et 65° parallèles.

Kendrew et Kerr (1955), dans leur étude du climat de la Colombie Britannique et du Yukon, distinguent pour la zone considérée 3 régions: au nord de la latitude 61°30' approximativement, le "Central Interior" et au sud débordant en Colombie Britannique, le "South West" et le "South East" séparés par le 132° méridien. Mais leur travail est basé sur un nombre restreint de stations (12) aux données souvent limitées et incomplètes et comme les auteurs le soulignent, "the regional divisions... can only be approximate, adopted rather to facilitate discussion of the available records than to delimit climatic regions". Disposant de données plus nombreuses nous envisageons donc de régionaliser les climats thermiques du Sud du Yukon.

MÉTHODOLOGIE

Pour la présente étude, nous avons utilisé les données de 27 stations météorologiques pour lesquelles nous disposons des données normales pour la période 1951-80 (figure 1 et tableau 1). Leur distribution spatiale est très inégale, leur nombre diminuant vers le nord et plus de la moitié d'entre elles se trouvant entre 60 et 61°30'N. Sur le plan altitudinal, en raison de leur localisation le long des grands axes de communication, c'est-à-dire dans les vallées du Yukon, de la Rivière-aux-Liards ainsi que dans la dépression du

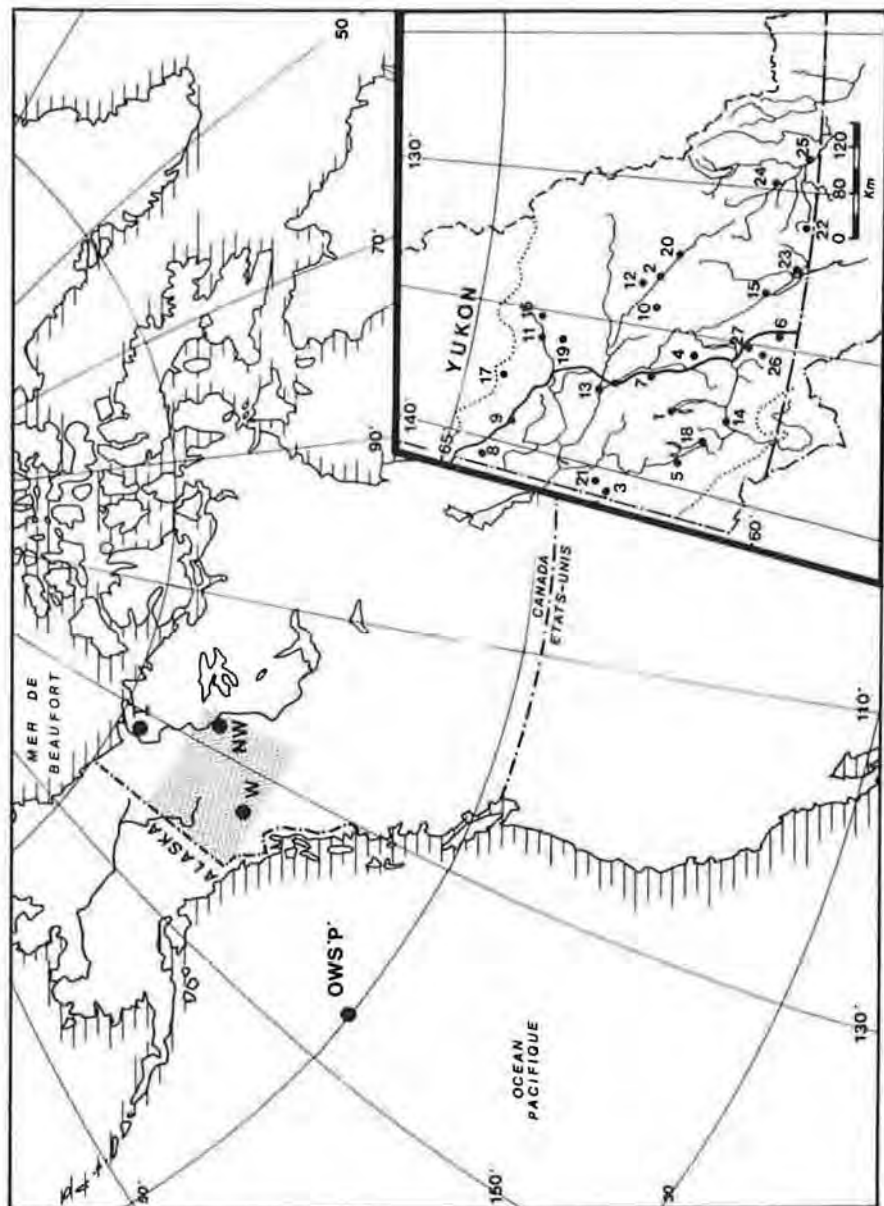


FIGURE 1. Carte de localisation de la région étudiée et des stations ayant servi à construire la figure 6.

TABLEAU 1. Localisation des stations retenues.

NO.	STATION	LATITUDE N	LONGITUDE W	ALTITUDE (m)
1	Aishihik	61°39'	137°29'	966
2	Anvil	62°22'	133°23'	1158
3	Beaver Creek	62°22'	140°52'	663
4	Braeburn	61°28'	135°47'	716
5	Burwash	61°22'	139°03'	799
6	Carcross	60°11'	134°41'	663
7	Carmacks	62°06'	136°18'	523
8	Clinton Creek	64°28'	140°44'	576
9	Dawson	64°03'	139°26'	320
10	Drury Creek	62°12'	134°23'	609
11	Elsa.	63°55'	135°29'	814
12	Faro	62°14'	133°21'	694
13	Fort Selkirk	62°49'	137°27'	454
14	Haines Junction	60°46'	137°35'	599
15	Johnsons Crossing	60°29'	133°18'	690
16	Keno Hill	63°56'	135°12'	1472
17	Klondike	64°27'	138°13'	960
18	Kluane Lake	61°01'	138°24'	786
19	Mayo	63°37'	135°52'	504
20	Ross River	61°59'	132°27'	698
21	Snag	62°22'	140°24'	587
22	Swift River	60°00'	131°11'	891
23	Teslin	60°10'	132°45'	705
24	Tuchitua	60°56'	129°15'	724
25	Watson Lake	60°07'	128°49'	689
26	Whitehorse A	60°43'	135°04'	703
27	Whitehorse Riverdale	60°43'	135°01'	643

Shakwak au nord-est des monts St. Elias, la majorité des stations (21) sont à une altitude inférieure à 800 m et seulement deux sont situées au-dessus de 1000 m. Pour l'ensemble, l'altitude moyenne est de 726 m et l'écart-type de 225 m.

Afin d'analyser les régimes thermiques, nous avons retenu 29 variables élémentaires, soit 3 variables de localisation (latitude, longitude, altitude), les 12 moyennes mensuelles des températures maximales, les 12 moyennes mensuelles des températures minimales, ainsi que les moyennes annuelles des maxima et des minima.

La première étape consiste à réduire la matrice originale des 29 variables centrées réduites, c'est-à-dire dont la moyenne est 0 et la variance 1, par une analyse en composantes principales. La standardisation n'est pas absolument nécessaire dans le cas de données thermiques mais elle permet d'éviter les variances élevées et, dans notre esprit, cela n'affecte pas l'interprétation. Après une rotation orthogonale du type Varimax, nous obtenons 3 composantes prenant en charge 92% de la variance totale, ce qui

n'a rien de surprenant du fait de la nature homogène des données et de la taille restreinte de la région étudiée. Le but essentiel de la procédure est en fait la détermination des notes factorielles pour chaque lieu qui se trouve ici défini dans un espace tri-dimensionnel. À partir de là il est possible de regrouper les stations par une méthode de hiérarchisation aggrégative.

Ici commence le choix difficile quand on connaît l'impact de la procédure utilisée. Aussi faut-il être conscient de la part de subjectivité existant dans les méthodes soit disant objectives (Johnston, 1967). Dans le cas présent, nous estimons que l'intérêt d'un regroupement réside dans son homogénéité spatiale. Plusieurs approches ont été essayées dans ce but et nous avons finalement retenu la méthode du centroïde.

C'est une méthode qui veut prendre en compte tous les lieux et ne pas négliger la structure interne des groupes. Elle consiste à définir la distance entre 2 groupes comme la distance entre leurs centroïdes (moyenne à n dimensions) et à fusionner, lors de chaque étape, les 2 groupes les plus proches (Beguin, 1979). Certains auteurs (Mather, 1976, Lance et Williams, 1966) ont quelques réticences envers cette procédure en raison des liens rétrogrades qui peuvent apparaître entre des groupes, c'est-à-dire qu'une fusion peut s'opérer sur base d'une dissimilarité inférieure à celle qui a décidé de la fusion à l'étape précédente. Cette anomalie ne complique pas l'interprétation et dans le cas de données spatialement continues comme des températures, le centroïde n'est pas un monstre.

ANALYSE DES RÉSULTATS

1. *L'analyse en composantes principales (C.P.)*

Comme nous l'avons déjà mentionné, l'analyse réduit les 29 variables originales à 3 composantes principales expliquant 92% de la variance totale. Si l'on considère la proportion de la variance extraite par les 3 composantes pour chaque variable, ou communauté¹, on constate que celle-ci est élevée pour toutes les variables thermiques (de 0.904 à 0.992). Seule la longitude est mal représentée (0.29) et, à elles trois, les variables de localisation contribuent à 50% de la perte d'information. Il est d'autre part notable qu'à quelques exceptions près, la plus grande partie de communauté de chaque variable se reporte principalement sur une C.P. Le comportement est différent selon que l'on considère les maxima ou les minima. Pour les maxima, elle est la plus élevée en avril-mai (0.98) et août-septembre (0.98) et la plus basse en juillet (0.93) et novembre (0.92). Pour les minima, c'est presque l'inverse: elle est élevée en janvier (0.96), juillet (0.96) et octobre (0.97) et plus faible en avril (0.92) et août (0.90).

La première C.P. prenant en charge 40.5% de l'explication de la variance est dominée par les températures minimales de novembre à mars et la température minimale annuelle dont les saturations sont supérieures à 0.90. Elle représente donc le *froid de l'hiver*. La saturation de -0.60 pour la latitude

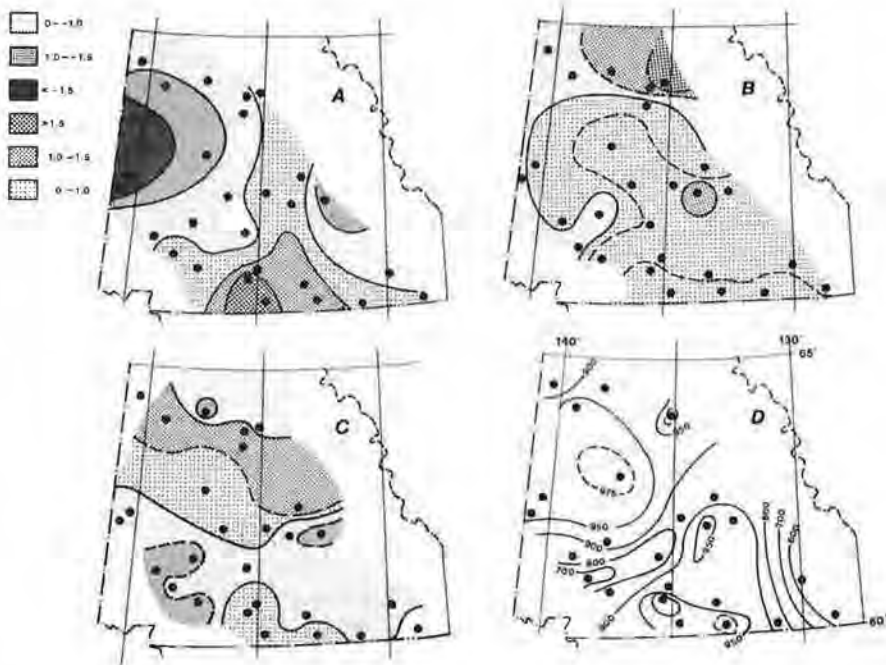


FIGURE 2. Distribution spatiale des notes factorielles obtenues pour chacune des 3 composantes et du degré de représentation de chaque station par les 3 composantes, exprimé en millièmes d'unité.

indique un effet modéré de cette variable spatiale, décroissant du Nord vers le Sud. Les notes factorielles pour cette composante sont élevées et positives dans la partie méridionale, autour de Whitehorse, alors que les valeurs fortement négatives apparaissent dans le Nord-Ouest (Snag-Dawson) et le Nord-Est (Ross River) (figure 2a).

La deuxième composante expliquant 31.3% de la variance montre des saturations élevées avec les maxima d'avril-mai et août-septembre (+0.85 à 0.98) et à un degré moindre les maxima de juin-juillet (+0.77) et octobre (+0.78). Elle exprime donc essentiellement la chaleur de la saison chaude surtout aux périodes - charnières correspondant aux changements de régime. Les saturations significatives de la latitude (-0.57) et surtout de l'altitude (-0.76) soulignent le rôle important de ces 2 variables. C'est donc dire que les maxima des saisons intermédiaires diminuent avec l'altitude et la latitude, mais aussi que ceci s'estompe au coeur de l'été. Cette 2^e C.P. contribue ainsi à opposer la majeure partie du secteur méridional et central de faible altitude aux régions plus nordiques ou plus élevées caractérisées par des saisons

intermédiaires fraîches (figure 2b).

La 3^e C.P. avec 20,6% de la variance a des saturations élevées (+0.91 à +0.96) pour les températures minimales de mai à août. Elle se trouve donc à représenter la *fraîcheur de l'été*. C'est, des 3 composantes, la moins corrélée avec la latitude et l'altitude. Elle oppose la moitié Nord à l'exception des stations d'altitude que sont Klondike (17) et Keno Hill (16) et l'extrême Sud positifs, à une bande centrale négative, surtout au pied des Monts St. Elias (figure 2c) où les températures minimales d'été sont plus basses.

Nous avons mentionné précédemment que la nature des 3 C.P. n'avait rien de surprenant en raison de l'homogénéité relative de la région étudiée. Néanmoins il est intéressant de noter le rôle important joué par les températures minimales notamment pour la 1^{ère} et la 3^e. Ceci peut s'expliquer par la relative uniformité des températures maximales pour l'ensemble de la région au coeur de l'hiver et en été, alors qu'au contraire l'interaction de la circulation et des particularités locales se reflète plus au niveau des minima. D'autre part si l'on examine les saturations des variables thermiques pour chaque composante en considérant séparément les maximas et les minimas, on remarque qu'elles forment des continuums à caractère périodique, parallèles entre eux. Les composantes 1 et 3 sont pratiquement symétriques, ont sensiblement la même amplitude et dans les 2 cas les saturations sont plus élevées pour les minimas. La 2^e composante est en fait complémentaire et connaît 2 pics correspondant aux inflexions des 2 autres et les maximas sont prépondérants, ce qui compense leur faiblesse dans les autres.

2. La représentation des lieux

Beguín (1979) souligne que la fidélité de la représentation de chaque lieu est presque toujours ignorée dans la littérature et pourtant son importance est capitale dans l'interprétation géographique. Elle exprime en quelque sorte la validité du modèle dérivé de l'analyse en composantes principales. Le degré de représentation d'un lieu est mesuré par le rapport entre la somme des carrés des valeurs reconstituées selon le modèle et la somme des carrés des valeurs standardisées d'origine.²

Dans le cas présent, les valeurs s'échelonnent d'un maximum de 0.984 pour Whitehorse A à un minimum de 0.540 pour Tuchtua. La figure 2d montre les variations spatiales de la représentation. Deux régions l'une au Sud centrée autour de Whitehorse (26) et Anvil (2) et l'autre au Nord-Ouest autour du Fort Selkirk (13) et Keno Hill (16) sont bien représentées et séparées par une bande allant du lac Kluane à Watson Lake (25) où les valeurs sont nettement plus basses et donc où les 3 composantes retenues expriment moins bien la réalité thermique. En raison de la méthode de calcul, il apparaît que les stations possédant des notes factorielles élevées donc plus extrêmes sur une ou plusieurs composantes sont généralement mieux représentées. Nous verrons que cela influence les groupes résultant de la classification des stations basée justement sur les notes factorielles.

3. La classification

À partir de la matrice des notes factorielles, il est possible de calculer les distances euclidiennes entre les stations et de les regrouper par méthode aggrégative en utilisant dans le cas présent le centroïde. Le dendrogramme obtenu (figure 3) ne montre qu'un seul lien rétrograde, soit lors du regroupement de A avec B et C. L'effet de chaînage que nous avons voulu éviter est peu développé et la perte d'information n'est que de 40% environ. Au total, 5 groupes sont obtenus et seules les stations de Klondike (17) et Keno Hill (16) sont écartées car trop différentes du reste. Les groupes D (3-20-21) et E (8-9-11) sont assez lâches et se regroupent tardivement, ce qui montre bien leur dissemblance par rapport aux groupes A, B et C plus méridionaux.

L'homogénéité spatiale est bonne (figure 4), les discontinuités n'affectant que 3 stations, Swift River (22) et Anvil (2) qui appartiennent au groupe A et Ross River (20) dans le groupe D, et les notes factorielles à l'intérieur des groupes montrent une homogénéité des caractéristiques sur 1 ou 2 C.P. qui permet une opposition entre les différents groupes. Ceci apparaît sur la figure 5 a et b. On constate que la première C.P. oppose le groupe C, méridional, avec des valeurs fortement positives aux groupes plus nordiques, D, fortement négatif, et E aussi négatif mais à un degré moindre. L'hiver sont donc moins rigoureux en C qu'en D et E. La comparaison des figures 4 et 2a souligne le poids de la 1^{ère} composante dans la classification.

La chaleur des saisons de transition oppose les groupes B et C, positifs, à E négatif et A négatif à neutre mais il est clair que le pouvoir de la 2^e C.P. est moins élevé que celui des 2 autres en raison d'une dispersion moins grande des notes factorielles (de -1.307 à +1.073).

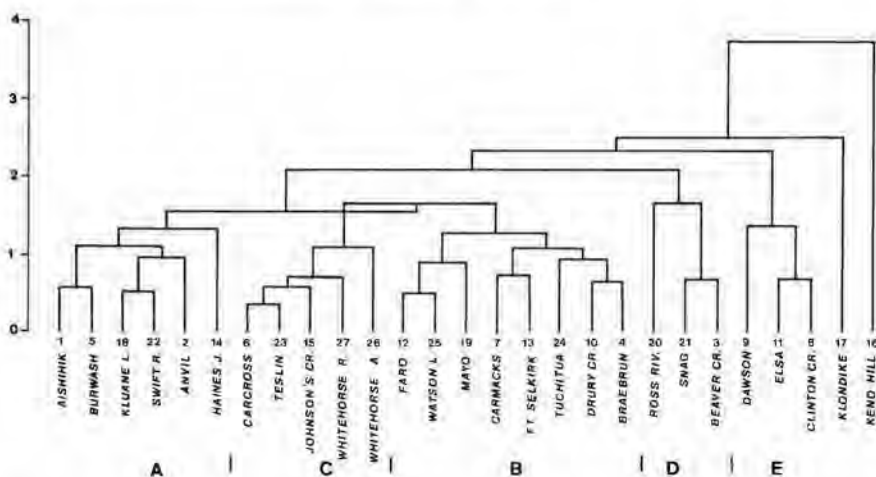


FIGURE 3. Dendrogramme montrant la hiérarchisation des stations du Sud du Yukon selon la méthode du centroïde appliquée aux notes factorielles des 3 composantes principales.

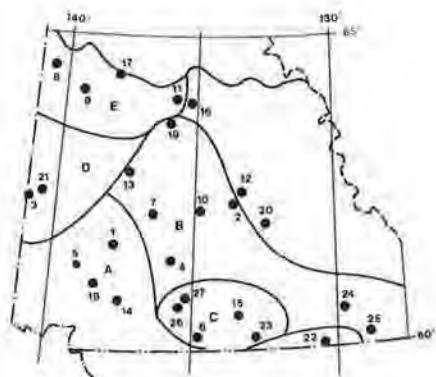


FIGURE 4. Régionalisation des climats thermiques du Sud du Yukon résultant du regroupement par la méthode du centroïde.

Enfin, la fraîcheur des nuits de l'été met en relief l'opposition entre E, fortement positif et A fortement négatif et à un degré moindre D, c'est-à-dire essentiellement que le pied des Monts St. Elias a des températures nocturnes estivales plus fraîches que celles des stations d'intérieur plus nordiques.

Si l'on considère les distances entre les stations et les centroïdes, d'une part, des groupes auxquelles elles appartiennent (distance intra-groupe) et d'autre part des autres groupes (distance inter-groupe), la marginalité de D et E est encore une fois évidente: les distances intra-groupes sont faibles (0.60 à 0.76) et les distances inter-groupes élevées, le groupe B étant dans les 2 cas le proche (1.85 pour D et 1.94 pour E). Le centroïde de l'ensemble A se trouve pratiquement à égale distance de B et C (1.75) et très éloigné de E (2.97). Le groupe C est sans contredit celui qui présente la meilleure homogénéité avec les distances intra-groupe les plus faibles (0.50) tout en étant très distant de E (2.97) et D (3.15).

L'ensemble B, géographiquement central, est aussi presque équidistant des autres avec des distances variant de 1.62 avec A à 1.94 avec E. C'est le plus hétérogène avec des distances intra-groupe moyennes de 0.83 et la moitié des stations (10, 13, 19, 24) ont des distances inter-groupes à peine supérieures aux distances intra-groupe. Ces 4 dernières stations sont très proches d'un des 4 autres groupes, 24 avec A, 10 avec C, 19 avec E et 13 avec D. On peut donc voir en B un groupe moyen, sorte de tampon avec les autres groupes, néanmoins globalement plus proche de C.

Plus paradoxale à première vue est la grande distance entre les centroïdes de D et E (2.80) qui sont géographiquement voisins et présentent des similitudes mais s'opposent fortement sur la 3^e C.P. Si l'on considère la représentation des lieux regroupés, C, D et E sont formés de stations avec des

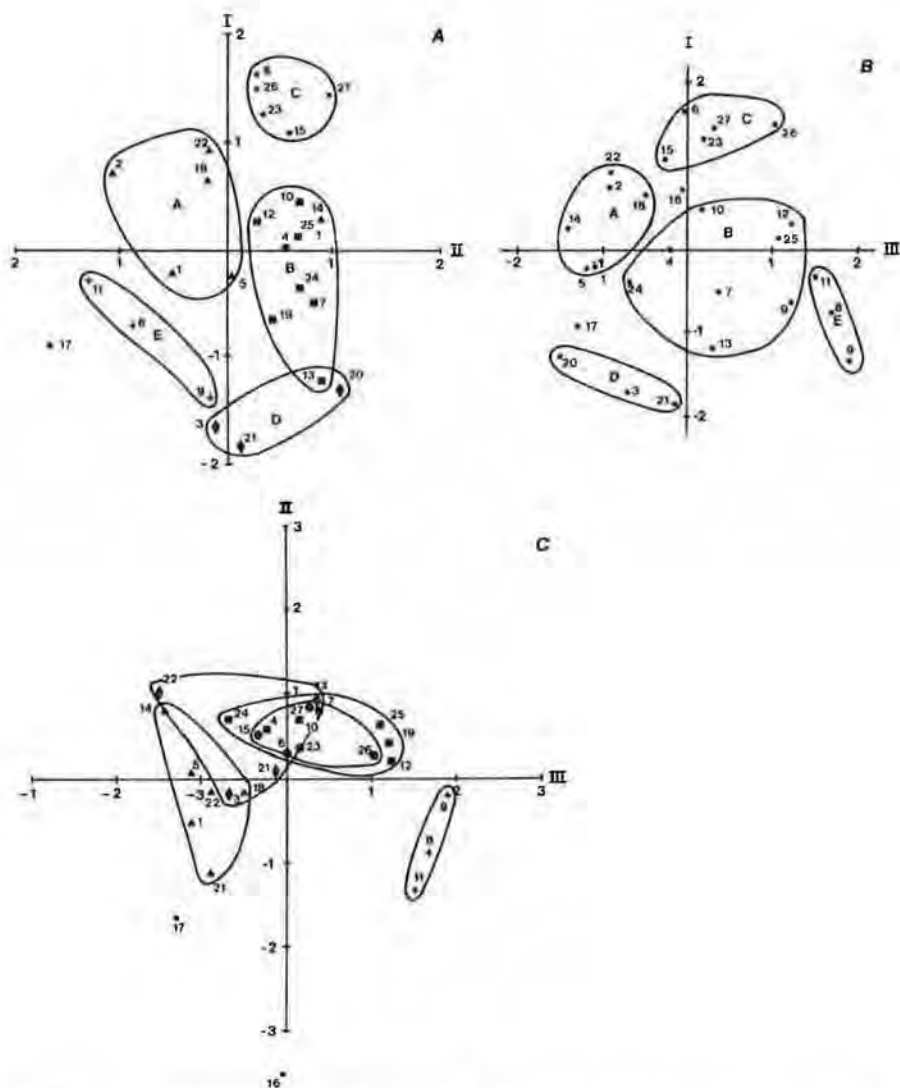


FIGURE 5. Comparaison des notes factorielles des différentes stations du Sud du Yukon, les composantes principales sont considérées 2 à 2 et représentées par les chiffres romains. Les lettres désignent les groupes obtenus par la méthode de regroupement.

valeurs élevées, supérieures à 0.900. En revanche A et surtout B sont des amalgames de stations bien représentées avec des stations mal à très mal représentées. Ainsi pour A les valeurs varient de 0.693 (Kluane Lake) à 0.952 (Anvil) et pour B de 0.540 (Tuchitua) à 0.981 (Fort Selkirk), confirmant ainsi l'aspect moyen de ce dernier groupe.

Par comparaison l'utilisation de la méthode du plus proche voisin ne donne pas des résultats fondamentalement différents. Les stations nordiques 8-9-11 forment encore un groupe très marginal de même que 3 et 21; mais ici Ross River (20) se joint à B. Les groupes C et B sont peu modifiés et A disparaît, ses stations se regroupant avec C. Cette situation illustre bien le caractère particulier de ce groupe qui, avec le méthode du centroïde possède un lien rétrograde avec B + C par l'intermédiaire de C. Les ensembles ainsi formés sont cependant moins nettement différenciés qu'avec l'autre type de hiérarchisation.

Si l'on compare la régionalisation obtenue avec celle de Kendrew et Kerr (1955) et en ne considérant que les stations disponibles à ces auteurs, on constate que leur division oppose un "Central Interior" regroupant des stations ayant des notes factorielles négatives sur la 1^{ère} C.P., au Sud où elles sont positives. Dans leur cas nos stations du groupe B, rappelons-le très hétérogène, sont réparties entre les différentes régions. De sorte que sur le plan thermique, leur régionalisation présente une assez grande parenté avec la nôtre.

4. *Caractéristiques thermiques des groupes (tableau 2)*

Le groupe A se caractérise par des températures d'été nettement plus fraîches que l'ensemble tant au niveau des maxima que des minima: la moyenne des maxima en juillet atteint seulement 18.6°C et celle des minima 5.4°C. En revanche les hivers sont moins froids que la moyenne avec pour les minima de novembre à mars une moyenne de -22.3°C. Il résulte de ceci que l'amplitude annuelle est basse (-34.9°C pour les maxima et -33.3°C pour les minima).

Pour B les températures de la demi-année estivale sont relativement élevées: la moyenne des maxima de juillet y sont les plus hauts (21.4°C) de même que ceux d'avril (6.1°C) et de la fin de l'été (19.2°C en août et 12.7°C en septembre) alors que les hivers sont plutôt froids (maximum de -21.6°C et minimum de -31.9°C en janvier). De sorte que les amplitudes annuelles sont accusées avec 43°C pour les maxima et 39.5°C pour les minima. L'ensemble C a nettement les températures hivernales les plus clémentes (-16.4°C pour les maxima et -25.7°C pour les minima en janvier). Les températures des saisons intermédiaires sont relativement plus douces que l'ensemble surtout en octobre. Les étés sont plutôt frais: la moyenne des maxima de juillet est seulement supérieure à celle du groupe A (20.1°C contre 18.6°C).

Le groupe D est remarquable par la froideur de l'hiver surtout au niveau des minima (-35.3°C en janvier). Rappelons que Snag (21) a le record de la température minimale absolue avec -62.8°C. La fraîcheur de la demi-année estivale (3°C) est comparable à celle du groupe A. C'est dans ce secteur que l'amplitude annuelle est la plus forte, légèrement supérieure à E pour les maxima (45.1°C contre 45.0°C) et nettement plus pour les minima (41.4°C contre 39.6°C).

Enfin, en E les hivers sont froids (-23.9 et -31°C en janvier) et les saisons intermédiaires fraîches surtout en avril et octobre où les moyennes des

TABLEAU 2. Caractéristiques thermiques des groupes obtenus par la classification centroïde.

Groupes	Composante principale I		Composante principale II				Composante principale III	Amplitude annuelle	
	Minimum annuel	Minimum nov. à mars	avril	août	septembre	octobre	minimum Mai à août	maximum	minimum
A	-9.8	-22.3	3.8	16.9	11.3	2.8	2.6	34.9	33.3
B	-9.9	-24.6	6.1	19.2	12.7	3.3	4.5	43.0	39.5
C	-7.0	-18.6	6.0	18.4	12.6	4.8	4.1	36.3	32.6
D	-12.9	-28.8	5.3	18.6	12.2	0.8	3.0	45.1	41.4
E	-9.7	-24.2	3.7	18.1	10.6	-1.1	5.4	45.0	39.6
Moyenne	-9.7	-23.2	4.7	17.9	11.7	2.3	3.8	40.2	36.9
Écart-type	1.9	-	2.2	1.8	1.8	2.4	-	4.7	4.0

maxima sont respectivement de 3.7 et -1.1°C. En revanche, les étés ont les températures les plus élevées de tout le Sud du Yukon en raison principalement des minima qui pour la demi-saison estivale atteignent 5.4°C.

Globalement donc, les groupes A et C qui ont largement les amplitudes annuelles les plus faibles sont les moins continentaux, raison pour laquelle Kendrew et Kerr (1955) les ont réunis dans leur subdivision "South West".

INTERPRÉTATION ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Si l'on tient compte, du fait que B est un groupe hétérogène de transition, la régionalisation des régimes thermiques obtenue montre essentiellement une opposition méridienne surtout marquée en hiver et en automne, un peu moins au printemps, et plus faible et inversée en été; ce qui reflète assez fidèlement les régimes de circulation comme nous allons le voir.

Afin de compléter les informations dont nous disposons nous avons voulu considérer les températures en altitude. Comme une seule station existe dans la région étudiée, Whitehorse, nous avons effectué des transects Sud-Nord du 50^e parallèle (Ocean Weather Station "P") à Inuvik en passant par Whitehorse et Norman Wells (voir figure 1). A partir des données de Titus (1973) nous avons donc construit 4 coupes des températures dans la couche 100-50 kPa en janvier, avril, juillet et octobre, en utilisant les données de l'après-midi (0h TU). Les résultats apparaissent sur la figure 6.

En hiver, la présence d'une vallée en altitude vers le 150^e méridien Ouest favorise le drainage d'air froid dans le nord. Le Golfe d'Alaska sur le flanc aval de cette vallée est alors un centre important de cyclogénèse (Klein, dans Bryson et Hare, 1974). Les régions nordiques (D et E) sont fortement influencées par les masses d'air froid du Klondike et de l'Arctique (Wendland et Bryson, 1981). En janvier le front arctique s'appuie sur les St. Elias (Barry, 1967) et les pressions les plus basses se retrouvent dans le triangle Aishihik-Burwash-Whitehorse avec des valeurs de l'ordre de 101.8-101.9 kPa et vont en augmentant vers le Nord (102.4 kPa à Dawson) et vers l'Est (102.2 kPa) à Watson Lake. Ce patron existe de novembre à février mais les pressions sont maximales en janvier.

La position du front est soulignée par un fort gradient thermique horizontal (figure 6a). Les stations continentales du transect montrent une inversion thermique de la surface d'environ 200 m à Whitehorse mais dépassant 1000 m à Norman Wells et Inuvik et qui résulte d'un important refroidissement près de la surface. La représentation thermique de la figure 6a met en évidence l'amincement vers le Sud de la masse d'air arctique et l'incursion d'air du Pacifique moins froid au-dessus qui explique la décroissance à la fois altitudinale exprimée par la 1^{ère} composante principale.

Durant les saisons de transition, l'opposition est moins nette mais est néanmoins sensible entre un ensemble B + C et le groupe E. Elle

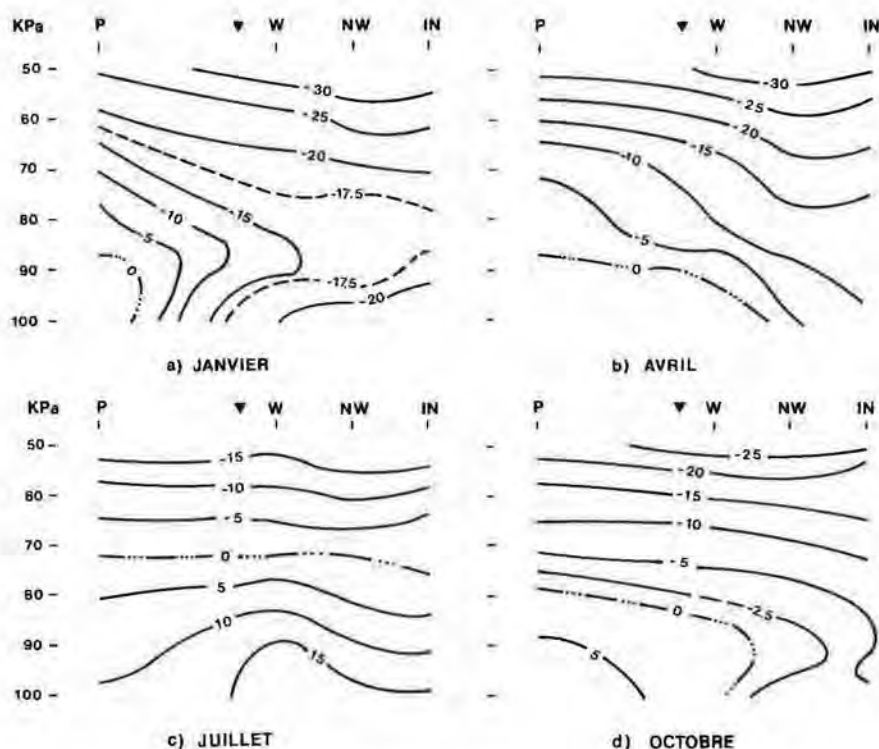


FIGURE 6. Distribution verticale des températures en °C le long d'un transect allant de la station pacifique "P" à Inuvik en passant par Whitehorse et Norman Wells pour les mois de janvier, avril, juillet et octobre.

correspond à un affaiblissement des masses l'air continentales dans le Sud-Ouest qui, à partir de février, se traduit par une chute brutale des pressions avec un minimum marqué en avril. Les mois de mars et avril présentent un changement progressif du champ de pression avec l'apparition d'une autre basse pression relative dans le Nord-Ouest, autour de Dawson.

En avril, seule Inuvik présente encore une inversion thermique superficielle. Le gradient thermique horizontal s'est atténué et inversé par rapport à la situation de janvier. La remontée vers le nord du front arctique qui se situe maintenant entre Whitehorse et Norman Wells permet une plus grande pénétration des dépressions en provenance du Golfe d'Alaska. Le gradient thermique vertical de $-6.1^{\circ}\text{C km}^{-1}$ à Whitehorse diminue vers le Nord à $-5^{\circ}\text{C km}^{-1}$ à Norman Wells. Ces caractères rejoignent ce qui est exprimé par la 2^e composante principale: les régimes thermiques des saisons intermédiaires et à un degré moindre de l'été montrent une décroissance à la fois latitudinale et altitudinale (figure 6b).

A partir du mois de mai s'installe le patron estival du champ de

pression qui présente alors un gradient Sud-Est-Nord-Ouest résultant de la remontée vers l'Alaska de la dépression des Aléoutiennes. En altitude, cette situation correspond à l'installation d'une crête au contact de l'Océan Pacifique et de la Colombie Britannique. L'examen des situations de juillet à 70 kPa de 1958 à 1967 révèle que dans 8 cas sur 10 l'axe de la crête est localisée vers 130° Ouest associé à une vallée vers 150-160° Ouest dont la pointe dévie parfois vers l'Est. Pour les 2 années "anormales", la crête était remplacée par une vallée et vice-versa. Toutefois la configuration revenait à la normale en août. L'apparition de cette crête provoque, en juillet, un maximum secondaire de pression net dans le Sud et moindre dans le Nord. C'est en juin-juillet que le gradient thermique vertical est maximum sur le continent réchauffé avec des valeurs les plus élevées à Whitehorse (-7.1 à $-7.6^{\circ}\text{C km}^{-1}$) contre des valeurs de -6 à $-6.5^{\circ}\text{C km}^{-1}$ à Norman Wells et Inuvik et seulement $-5^{\circ}\text{C km}^{-1}$ sur l'océan. La figure 6c montre bien la nette dominance des gradients verticaux sur les gradients horizontaux. La nuit, les gradients horizontaux reprennent de l'importance. La limite de l'inversion thermique qui se situe à Whitehorse vers 10 kPa soit à une altitude variant entre 794 m et 1107 m de mai à août, s'incline vers le nord pour n'être plus, à Norman Wells et Inuvik qu'à 95 kPa soit entre 327 et 660 m. C'est à Norman Wells que les températures nocturnes sont les plus élevées mais c'est à Whitehorse que les écarts entre le jour et la nuit sont les plus marqués. Au-dessus de l'inversion thermique les gradients verticaux sont sensiblement les mêmes.

Ce comportement de l'atmosphère près de la surface éclaire singulièrement le patron de la 3^e composante, la fraîcheur de l'été. L'opposition entre les groupes A et E et le gradient d'ensemble Sud-Ouest Nord-Est reflète cette augmentation des températures nocturnes vers l'intérieur. Le groupe nordique E de même les stations 12, 19 et 25 qui ont des notes factorielles élevées sont insensibles à l'altitude car la plupart sont en-dessous de l'inversion dans le Nord où le gradient vertical positif est faible. À l'opposé, les stations du groupe A sont de part et d'autre de l'inversion et en quelque sorte ne bénéficient pas du phénomène. Les stations du groupe C très proches les unes des autres et à des altitudes très voisines sont près de l'inversion et forment un groupe homogène avec des températures douces. Le groupe B, comme nous l'avons vu, plutôt hétérogène montre à la fois un gradient latitudinal positif tout à fait normal et un gradient altitudinal négatif comme si toutes les stations étaient situées au-dessus de l'inversion.

En fait la comparaison des notes factorielles de la 3^e CP avec les sondages atmosphériques suggère que les effets superficiels contribuent à réduire les inversions aux fonds de vallée, vraisemblablement à quelques dizaines de mètres au-dessus de la surface dans le Sud notamment. Les sondages sont en partie faussés par l'altitude de base de la station de Whitehorse (700 m) qui fait que la première mesure est faite à 90 kPa. L'inversion peut donc se situer en réalité entre 700 m et la surface de 90 kPa.

À partir de la distribution spatiale des notes factorielles on peut

estimer que le niveau d'inversion entre les 60° et 62° parallèles se situe entre environ 600 et 700 m, s'abaissant vers le Nord à 400-500 m et que la différence entre les températures minimales moyennes de mai à août aux stations et celles des sondages varie de 2 à 4 degrés selon les sites, les surfaces étant plus froides que la basse troposphère.

L'abaissement latitudinal de la zone d'inversion explique aussi que même si la dépendance de la 3^e CP avec l'altitude et la latitude est grande, les saturations sur ces 2 variables restent modestes.

Enfin il convient de revenir sur le cas d'une autre période de transition représentée par le mois d'octobre. Nous avons déjà mentionné ce caractère en constatant l'éclatement des saturations pour ce mois entre les trois composantes principales. Ceci est renforcé par l'examen du comportement de l'atmosphère. En surface, les pressions s'abaissent de l'ordre de 3 à 5 mb sur l'ensemble de la région mais le patron reste estival avec une haute pression au Sud-Est et une zone de pression plus basse autour de Snag-Dawson. En revanche, sur le plan des sondages verticaux, le changement est très net (figure 6d). Cela se traduit par la présence d'inversions thermiques, même le jour, à Norman Wells et Inuvik par suite de la pénétration, en surface d'air froid favorisée par l'existence d'une légère vallée en altitude sur le Golfe d'Alaska. Il en résulte une contraction brutale, à ces deux stations, de la couche 100-50 kPa surtout importante entre 100 et 70 kPa. Au-dessus des inversions, les gradients sont toujours homogènes mais diminuent (-5.4 à -5.9°C km⁻¹). Les températures sont plus élevées qu'en avril, même si le front arctique est sensiblement à la même position, mettant en évidence la lenteur du refroidissement superficiel. Cependant le patron d'ensemble diffère de ceux d'avril et de juillet et montre déjà une certaine ressemblance avec celui de janvier. Il s'agit bien d'un mois-charnière qui appartient à la 2^e CP pour les maxima et à la 1^{ère} pour les minima, comme cela se produit aussi au mois de mars.

Il ressort de tout ceci que le déplacement du front arctique est limité au Sud par les St. Elias et au Nord par le littoral de la mer de Beaufort, déplacement reflété par l'analyse des sondages verticaux.

La structure thermique observée dans le Sud-Ouest du Yukon exprime assez fidèlement ces caractères et les trois composantes principales dégagées peuvent aussi être reliées à l'évolution de la durée de l'éclairement et aux fluctuations de la radiation le long d'un transect Whitehorse - Norman Wells - Inuvik. La période couverte par la 1^{ère} composante principale est caractérisée par un fort gradient Sud-Nord, maximum durant la nuit polaire. Durante les mois correspondant à la 2^e CP (avril-mai et août-septembre), le gradient devient pratiquement nul avec toutefois une légère inversion en mai et août. De mai à août (3^e CP), la radiation nette est plus élevée à Norman Wells (9.10 MJ.m⁻²) expliquant l'importance du réchauffement superficiel. Au niveau du rayonnement global, le gradient n'est inversé qu'en juin et juillet; ces particularités permettent de mieux comprendre que mai et août appartiennent à la 2^e CP pour les maxima et à la 3^e pour les minima.

CONCLUSION

L'analyse des régimes thermiques du Sud-Ouest du Yukon reflète l'opposition saisonnière entre les différentes parties du territoire. Elle a permis de reconnaître 5 régions relativement homogènes sur le plan de leur réponse aux changements du climat au cours de l'année. Ces derniers s'expriment sous forme de gradients verticaux et horizontaux que l'on retrouve dans les 3 composantes principales découpant l'année: les premiers prédominent au niveau des maxima durant les saisons de transition et l'été, les seconds en hiver et en été au niveau des minima. Ils reflètent l'action concurrente des masses d'air arctique et pacifique et le mouvement du front arctique approximativement entre les 60^e et 70^e parallèles. En particulier dans la région de Whitehorse les résultats obtenus montrent que l'influence de l'air du Pacifique cyclonique en hiver et durant les saisons de transition et anticyclonique en été est plus importante que ne le laissent supposer Wendland et Bryson (1981) et que les fréquences sont plus proches de celles proposées par Bryson et Hare (1974).

La complexité apparente de la structuration de l'espace thermique provient du fait que les gradients ne jouent pas toujours dans le même sens ni de la même façon. Si la situation est relativement simple aux saisons de transition où ils sont tous deux négatifs, c'est-à-dire décroissant avec la latitude et l'altitude, en hiver et en été l'existence d'inversions thermiques parfois localisées à une seule région est un facteur important d'hétérogénéité.

Le lien établi entre les caractéristiques saisonnières et la radiation solaire ouvre d'intéressantes perspectives paléoclimatiques. D'une façon plus directe, l'intérêt principal de la régionalisation peut se voir sur au moins 2 plans: elle permet de déterminer les caractéristiques thermiques de l'ensemble du territoire même si les stations de référence sont essentiellement localisées dans les vallées; elle permet aussi une meilleure sélection des stations de référence pour l'établissement de corrélations entre séries comme par exemple, cela se pratique couramment en dendrochronologie.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été en partie rendue possible par une subvention du CRSNG n° A7992. Les commentaires de 3 lecteurs anonymes ont été appréciés et ont permis d'améliorer sensiblement le texte.

NOTES

- 1 C'est la somme des carrés des saturations pour chaque composante:

$$\sum_P a_{jp}^2$$

- 2 Les valeurs reconstituées sont obtenues en multipliant les saturations a_{jp} par les notes factorielles C_{pi} et la représentation d'un lieu i s'écrit donc:

$$\sum_j \left(\sum_p a_{jp} \cdot C_{pi} \right)^2 / \sum_j Z_{ji}^2$$

RÉFÉRENCES

- Barry, R.G. (1967): Seasonal location of the Arctic front over North America. *Geographical Bulletin*, 9, 2, p. 79-95.
- Beguín, H. (1979): *Méthodes d'analyse géographique quantitative*. Litec, Paris, 252 p.
- Bryson, R.A. et Hare, F.K. (1974): The climates of North America. In: *Climates of North America, World Survey Climatology*, vol. 11, Elsevier, Amsterdam-New York, p. 1-47.
- Johnston, R.J. (1968): Choice in classification: the subjectivity of objective methods. *Annals of the Association of American Geographers*, 58, p. 575-589.
- Kendrew, W.G. et Kerr, D. (1955): *The Climate of British Columbia and the Yukon Territory*, Queen's Printer, Ottawa, 222 p.
- Lagarec, D. et Geurts, M.-A. (1985): Les caractéristiques climatiques de la pluie pollinique dans la vallée du Gladstone Creek, Chaîne Ruby, Territoire du Yukon. *Notes de Recherches du Département de Géographie*, Université d'Ottawa, no. 46, 32 p.
- Lance, G.N. et Williams, W.T. (1966): A generalized sorting strategy for computer classifications. *Nature*, 212, p. 218.
- Mather, P.M. (1976): *Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography*, John Wiley & Sons, Toronto, 353 p.
- Normales climatiques du Canada (1982): Températures et précipitations. Le Nord, T.Y. et T.N-O. 1951-1980. Environnement Canada, 55 p.
- Normales climatiques au Canada (1984): Pression atmosphérique, température et humidité, 1951-1980. Environnement Canada, 334 p.
- Rex, D.F. (1951): Blocking action in the middle troposphere and its effects upon regional climate; I. An aerological study of blocking action. *Tellus*, p. 196-211.
- Titus, R.L. (1973): *1961-1970 mean, extreme and standard deviation values for Canadian Upper Air stations*. Environnement Canada, 206 p.
- Wendland, W.M. et Bryson, R.A. (1981): Northern hemisphere airstream regions. *Monthly Weather Review*, vol. 109, p. 255-270.

The Climatology of Sea-Breezes in the Lower Fraser Valley, B.C.

D.G. Steyn

Department of Geography
The University of British Columbia
Vancouver, B.C., Canada
and

D.A. Faulkner

Scientific Services Division, Pacific Region
Atmospheric Environment Service
Vancouver, B.C., Canada

[Original manuscript received 2 February 1986; in revised form 9 June 1986]

ABSTRACT

Hourly wind speed and direction data over a ten year period from two stations in the lower Fraser valley, B.C. are analysed in order to characterize sea breezes in the region. A set of criteria based on the diurnal reversal of wind direction, the Biggs and Graves lake-breeze index, and the number of sunshine hours is used to identify sea breeze days. Statistics are presented that describe the occurrence, duration and intensity of the sea breezes. The average annual occurrence is 48 days a year at a valley location and 86 days a year at a coastal location. The monthly frequency of occurrence has a maximum of roughly 10 days per month in August. During this month, the maximum duration is 8 to 9 hours per day. The intensity of the sea breezes is roughly 3 ms^{-1} at both locations. An analysis of mean daily hodographs shows two distinct seasonal regimes with differing interaction between the sea breeze and topographically induced local winds.

RÉSUMÉ

Les données horaires de vitesse et direction du vent de deux stations situées dans les basses-terres du Fraser en Colombie Britannique, échelonnées sur une période de dix ans, ont été analysées afin de faire ressortir les caractères de la brise de mer dans la région. Une série de critères soient le renversement diurne de la direction du vent, l'indice de la brise de mer de Biggs et de Graves ainsi que le nombre d'heures d'ensoleillement ont servi à identifier les journées avec brise de mer. Des statistiques décrivant l'occurrence, la durée et l'intensité de la brise de mer, sont offertes. L'occurrence annuelle moyenne est de 48 jours dans la vallée et de 86 jours sur la côte. La fréquence mensuelle d'occurrence atteint un maximum d'environ 10 jours en août. Durant ce mois, la durée maximale est de 8 à 9 heures par jour. L'intensité de la brise de mer est environ de 3 ms^{-1} aux deux stations. L'analyse des hodographes journaliers

moyens démontre qu'il existe deux régimes saisonniers distincts selon l'interaction entre la brise de mer et les vents locaux produit par la topographie.

I. INTRODUCTION

The lower Fraser valley, B.C. is located on the eastern shore of the Strait of Georgia (see Figure 1). Under certain synoptic conditions, the temperature contrast between this relatively deep, well-mixed water body and the adjacent land surfaces gives rise to local, thermally-forced daytime sea breezes and nighttime land breezes. The complex terrain surrounding the valley also gives rise to slope and drainage winds which combine with the land and sea breezes to form complex patterns of local winds as discussed by Hay and Oke (1976).

As Emslie (1968) has pointed out, the sea breeze and other local winds have impacts on a variety of human activities and endeavours. These include impacts on recreation, construction and transportation. Perhaps the chief impact is on human health through the dispersion of atmospheric pollutants. Concord Scientific (1982) has linked sea breezes in this region to the transport of oxidant pre-cursors and oxidant pollutants which lead, at times, to high concentrations of oxidants in portions of the valley.

In order to understand the behaviour of the sea breeze (and come to terms with its impact on human activities), it is important to have a good understanding of the physical nature of the phenomenon. While observational and modelling studies are necessary to achieve an understanding of the mechanisms controlling it, this study of the sea breeze climatology is an important adjunct to those studies. It is hoped that the understanding achieved will be useful to weather forecasters and to those whose plans for future activities are dependent on winds.

Surprisingly little research on the climatology of the sea breeze in this area has been carried out. Emslie (1968) analysed records of winds measured at the Lions Gate Bridge (First Narrows, Figure 1) at a height of 70 m above sea level. By considering days on which a morning or early afternoon wind shift (from east to west) was followed by a reverse shift later in the day, he found shifts to occur 58-63 percent of the days in summer, and even in winter, on about 9 percent of the days. He observed also that sea breezes were initiated about four hours after sunrise and lasted until 1-2 hours after sunset. In summer months sea breezes lasted, in the mean, 9-12 hours, in winter 4-6 hours. Mean wind speeds during the sea breeze reached 4.4 m s^{-1} .

In this study, an attempt is made to expand on Emslie's analysis by examining wind records from two locations within the region of interest (see Figure 1 and Table 1). Criteria for determining the occurrence or non-occurrence of a sea breeze are established and using these, days with sea breezes are selected. From this subset of sea breeze days, statistics (principally mean conditions) are determined for each month of the year. These statistics are interpreted in terms of factors that may be important in influencing local winds.

FIGURE 1. Map of the lower Fraser valley, B.C. showing the anemometry and thermometry locations and local geographic features referred to in this study.

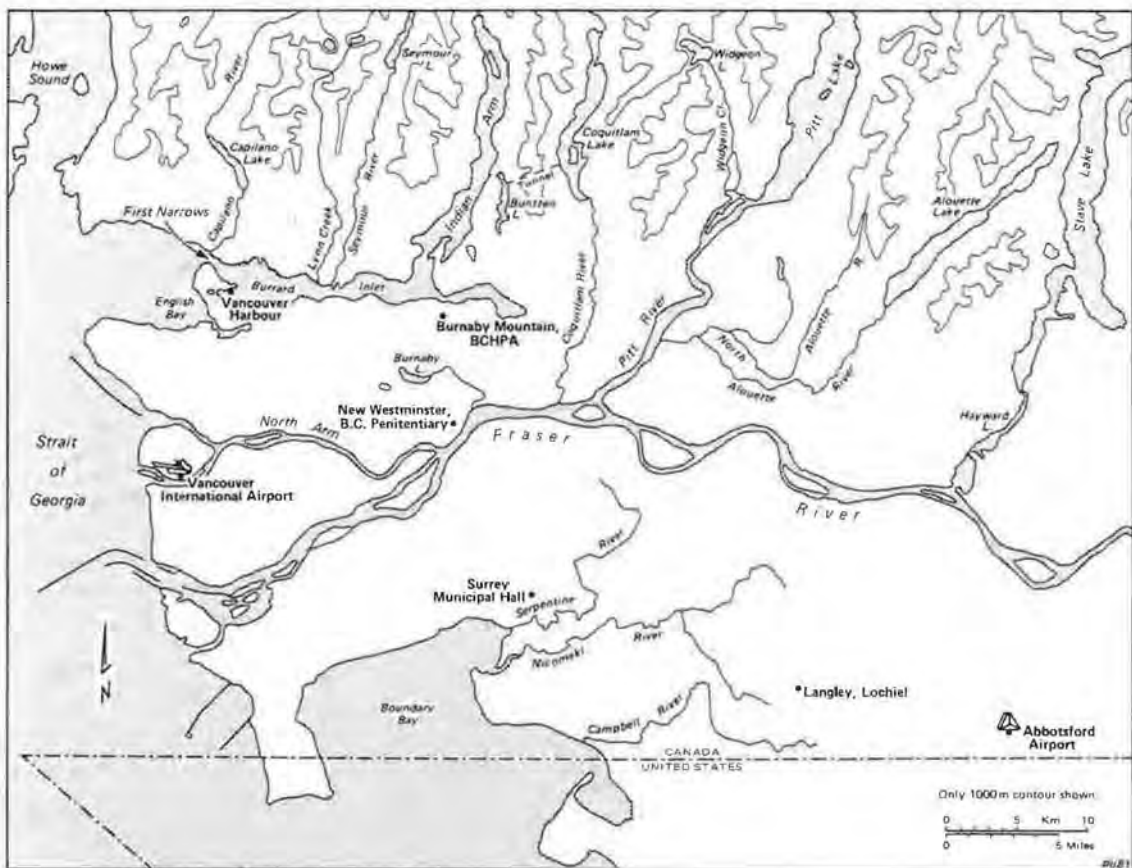


TABLE 1. Estimated Southern Strait of Georgia Mean Monthly sea surface temperatures (Tw).

Month	Tw (°C)	Month	Tw (°C)
January	4.2	July	13.9
February	4.6	August	13.3
March	5.5	September	11.3
April	6.6	October	8.5
May	9.9	November	6.9
June	12.2	December	5.4

2. DATA

The data utilized in this study are derived from the Atmospheric Environment Service (AES) archives maintained in Downsview, Ontario. Ten year (January 1973 to December 1982) records of one minute averaged wind-speed and wind-direction as measured at Vancouver International Airport and Abbotsford airport were extracted from the archives for analysis (see Figure 1 for all station locations). The Vancouver International Airport station is located at 49°11' N, 123°10' W and is 3 m above sea level. For the purposes of this study, wind in the sector 210 to 320 degrees true may be considered onshore and 30 to 150 degrees true as offshore. The Abbotsford airport station is located at 49°02' N, 122°22' W and is 58 m above sea level. For this station, onshore winds are from the sector 170 to 250 degrees true while offshore winds are from 000 to 120 degrees true. Both stations maintain anemometers of the U2A type.

These stations were selected since they have unobstructed fetch in the near field, and are not near any local topographic features. This will mean that the observed winds will be representative of the larger scale topographic forcing – that of the entire Fraser valley. The Vancouver International Airport data will thus represent valley-scale winds at the coastline, while the Abbotsford data will represent the same phenomena at an intermediate valley location. Data are available for seven other locations within the valley, and were subjected to the same analysis as were the data for the two stations under consideration. These analyses show similar features to the ones presented, but all show some form of sub-valley scale topographic forcing, and are thus omitted here.

In developing the sea-breeze criteria, ancillary data were required.

These are:

- Daily total sunshine hours (available for Vancouver International Airport and Abbotsford Airport).
- Daily maximum temperatures (available for Abbotsford Airport; Burnaby mountain, B.C.H.P.A.; Langley, Lochiel; New Westminster, B.C. Penitentiary; Surrey, municipal hall; Vancouver harbour and Vancouver International Airport).

- Daily average sea-surface temperatures in the Strait of Georgia.

The appropriately averaged sea-surface temperatures were not available, and had to be substituted for by estimated monthly average data. The data utilized were sea-surface temperatures measured at Porlier Pass (35 km west of the shore of the study area). These temperatures were adjusted downward since temperatures in the southern part of the strait are lowered by tidal mixing (Waldichuk, 1957). While the use of monthly averages is not ideal, it is judged acceptable since sea-surface temperatures in these enclosed waters are very conservative. Table 1 gives the estimated mean monthly sea-surface temperatures which were used for all years in the following analysis.

3. CRITERIA FOR DETERMINATION OF SEA BREEZE DAYS

A major difficulty in developing statistics of sea breeze days is establishing the criteria for determining sea breeze and non-sea breeze days. This rises from the difficulty of separating local, thermally-driven circulations from synoptic scale circulations. For this study, we adopted criteria based on (a) characteristics of the sea breeze and (b) the physical forces necessary to drive the sea breeze circulation.

The prime characteristic of a land/sea breeze circulation which we employ is its reversing flow, i.e. the shift from offshore to onshore flow in the morning or afternoon with a subsequent reversal later in the day. The prime criterion used to determine if a sea breeze blew at a particular station on any day was the existence of this reversing circulation. The criterion was implemented in the following way:

- a majority of hourly winds from 0300-1000 Pacific Standard Time (PST) were offshore,
- the wind blew onshore for at least two consecutive hours during the period 0800-2000 PST, and
- the wind did not blow onshore for a majority of hours from 2100-0100 PST.

The range of directions for onshore and offshore flow were determined subjectively by reference to analyses of wind direction frequencies. Most stations in the area show a bi-modal distribution of wind direction frequencies, particularly in summer (Hay and Oke, 1976). For example, prevailing Vancouver International Airport winds clearly are easterly but a secondary maximum of westerly winds is evident as well. Thus the ranges of offshore and onshore wind directions were set broadly enough to bracket these directions; emphasis was placed on summer data since these are the best indicator of sea breeze directions.

A reversing flow was considered to be a necessary condition for selecting sea breeze days but it is recognized that reversing flows may result from other causes. A reversing wind might occur from synoptic scale forcing;

such flows occur, for example, with a cold front passage. It is thus necessary to attempt to remove such cases.

A sea breeze occurs only when local thermal forcing overcomes the synoptic scale forcing. This led Biggs and Graves (1962) to propose a lake breeze index (L-B index) based on the balance of inertial and buoyancy forces. The former is represented by wind speed, the latter by the land-water temperature difference giving rise (through buoyancy) to horizontal pressure gradients. The index they developed was

$$\text{L-B Index} = U^2/c_p \Delta T$$

where U = a characteristic wind velocity (ms^{-1}),

c_p = specific heat of air at constant pressure ($1003 \text{ Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$) and,

ΔT = difference between a characteristic land temperature and the lake (or sea) temperature (K).

In their application, Biggs and Graves used the mean wind speed from 1000-1600 LST, and the maximum temperature at a site approximately 38 km from Lake Erie (Ypsilanti Airport, Michigan). From observations, they determined the critical L-B Index to be 3.0, i.e. lake breezes occur only when the L-B Index is less than 3.0. Atkinson (1981) compares the Briggs and Graves data with the calculated estimates by Walsh (1974) of the local scale horizontal temperature gradients needed to overcome an opposing synoptic flow. His analysis indicates that the critical value of 3.0 may be a universal one.

In our application, we use the highest maximum daily temperature at the seven stations listed earlier, and the estimated mean monthly sea-surface temperature in the Strait of Georgia to determine ΔT . For U , we use the mean wind speed during the three hour period prior to the reversal from offshore to onshore flow. This latter choice is made in order to duplicate (if possible), Walsh's (1974) criterion. From these, we may calculate a L-B index at the two stations of interest for all days showing a flow reversal, and reject days not meeting the critical value of 3.0.

One last criterion was applied in screening out non-sea breeze days. Since the sea breeze is a thermally-driven local circulation, it should be expected only on days on which the sun shines for a significant fraction of the day. Thus, in this study, days on which the total hours of sunshine at Vancouver Airport and Abbotsford Airport totalled less than six were rejected. The total, admittedly an arbitrary limit, may be 6 hours at either station, or a combination, say 3 hr at Vancouver International Airport, 3 at Abbotsford Airport. Sunshine data were missing for short periods at one or the other station. If data were missing for one and the hours of sunshine at the other totalled less than 6 hr, the criterion was not applied.

While it is recognized that these criteria are arbitrary, they do include elements of the physical factors involved in the phenomenon of interest (the L-B index and sunshine hours criterion) and elements of the observed

properties of the phenomenon (diurnal reversal of wind direction). The combined criteria contain a degree of redundancy which will result in errors of the conservative kind (rejection of marginal sea-breeze days). Barbato (1978) conducted a similar study for the Boston basin, but used a somewhat different set of criteria. It is believed that the inclusion of the L-B index in this study will place it on a more mechanistically sound footing.

It is instructive to examine the effect of the three sea-breeze criteria. The rejection statistics are displayed in Figures 2.1 and 2.2. It is evident that the wind reversal criterion is the most important, and that the L-B index is the

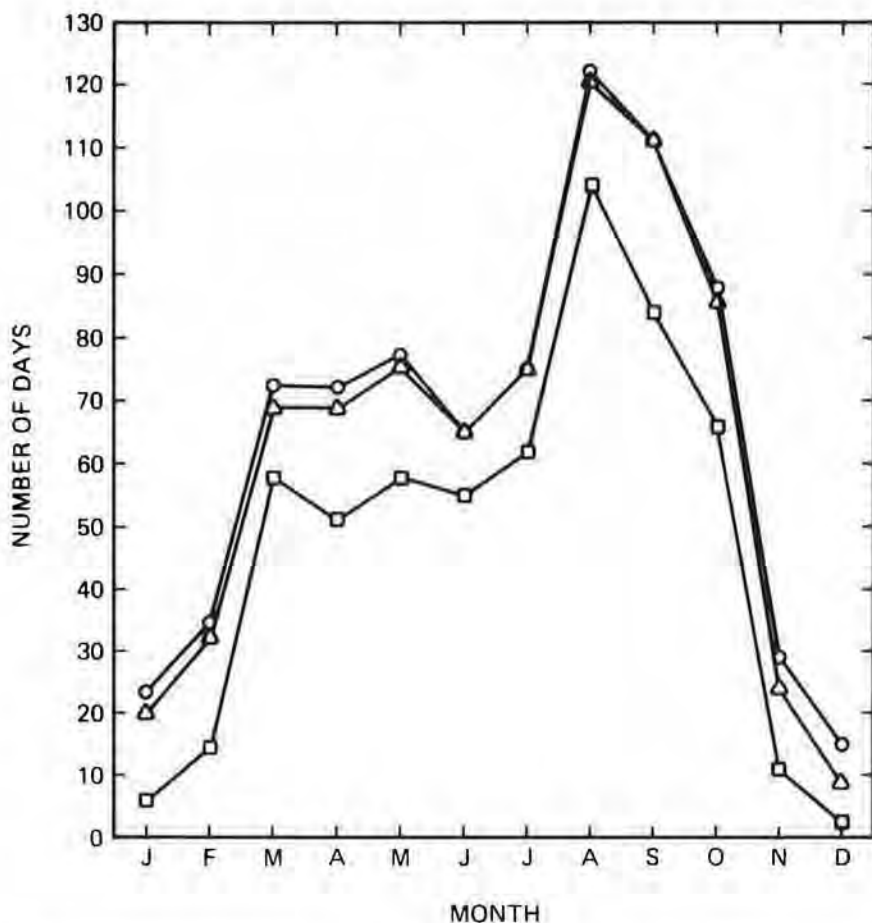


FIGURE 2.1. Rejection statistics (by month) for the three sea-breeze criteria at Abbotsford Airport. The upper level is the number of days in the whole sample passing the wind reversal criterion. The second level is those passing both wind reversal and B-G index criteria. The lowest level is those passing all three criteria.

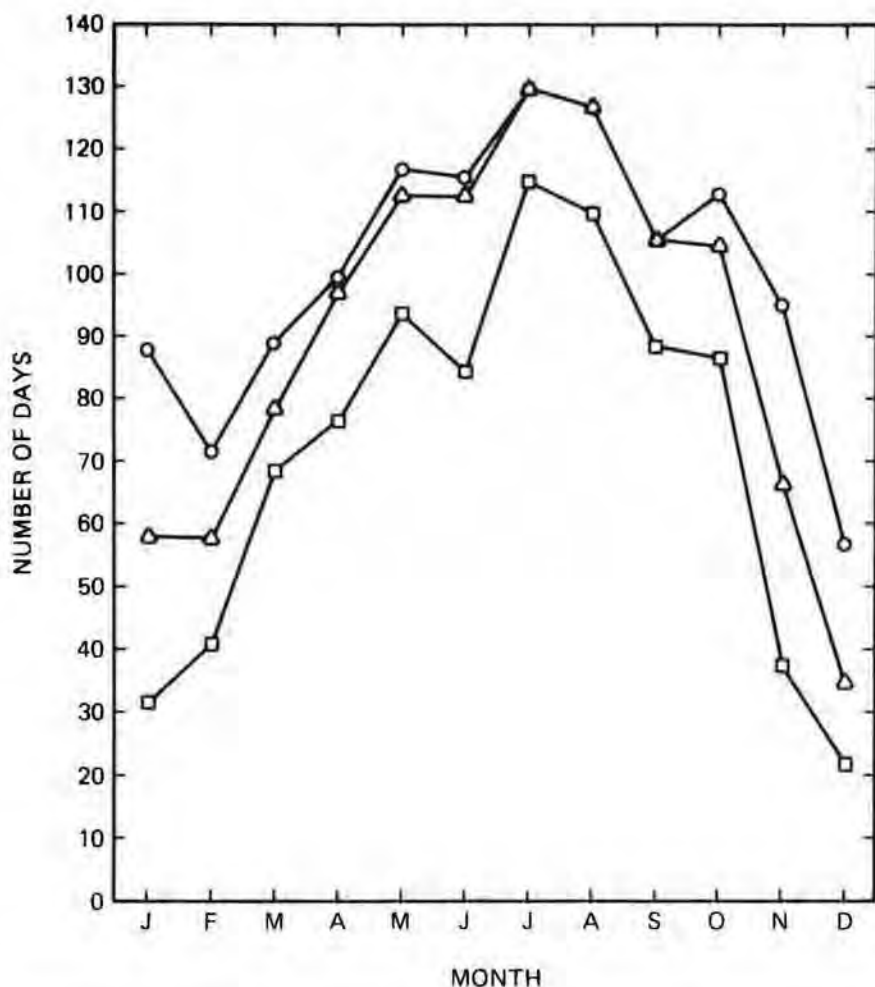


FIGURE 2.2. As for Figure 2.1 but for Vancouver International Airport.

least important. This ranking is due (in part) to the sequence in which the three criteria were applied, given the aforementioned redundancy built into them. The logic of our criteria may be summarized by denoting the first as a “phenomenological filter”, and the latter two as “mechanistic filters”. The sequence of the latter two is arbitrary, but the first criterion must remain prime. Of interest is the fact that the L-B index has virtually no effect in the summer and early fall months when the region is not prone to synoptically induced wind shifts (Hay and Oke, 1976).

4. DESCRIPTIVE STATISTICS OF SEA BREEZE DAYS

We present statistics, mainly mean conditions, for the sea breeze days selected using the criteria described above at the two sites. The statistics are:

- (a) Mean frequency and range of frequency of occurrence of sea breeze days by month;
- (b) Median time of onset and cessation of the sea breeze by month;
- (c) Mean daily duration by month;
- (d) Mean wind speeds before, during and after the sea breeze by month;
- (e) Most frequent wind direction before, during and after the sea breeze by month.

These statistics are presented in Tables 2.1 and 2.2, plotted on Figures 3.1 to 5.2 and discussed in section 4.1. In addition to these monthly statistics, hodographs representing the mean hourly wind vectors during sea breeze days at the two stations are presented in Figures 6.1 and 6.2, and discussed in section 4.2.

4.1 *Mean monthly statistics*

From Tables 2.1 to 2.2, it is evident that the sea breeze is a relatively common phenomenon in the lower Fraser valley, as it is detectable on an average of 48 days a year at Abbotsford Airport and 86 days a year at Vancouver International Airport. Figures 3.1 and 3.2 show how the frequency of occurrence varies with month, exhibiting the expected maximum in August (roughly 10 days) and minimum in December/January (3 days for Vancouver International Airport, 1 day for Abbotsford Airport). The frequency of occurrence at the up-valley site is sharply peaked in August and September, while the valley mouth site has a much broader peak. This is presumed to be due to the greater difficulty with which the circulation penetrates the valley under all but the strongest heating conditions. This factor is presumably also responsible for the generally lower frequencies at Abbotsford Airport. The observed frequencies of summertime occurrence at Vancouver International Airport are roughly comparable to Lyon's (1972) observations for Chicago in the summertime.

The times of onset and cessation (and duration) of sea-breezes at both sites are shown on Figures 4.1 and 4.2. The times of onset/cessation exhibit the expected minimum/maximum in summer, with the effect being much more marked for Abbotsford Airport. The maximum duration is 8 to 9 hours at both sites, but this duration is observed for 7 months (March to September) at Vancouver International Airport but only 2 months (July and August) at Abbotsford Airport. This effect is due to the relative proximity of the latter station to the coast-line.

Figures 5.1 and 5.2 show the mean wind speeds before, during, and after sea-breezes at both sites. The strength of the flow is roughly 3 ms^{-1} at

TABLE 1. Monthly statistics for sea-breezes at Abbotsford Airport

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Frequency of occurrence (days):													
- mean	0.6	1.4	5.8	5.1	5.8	5.5	6.2	10.4	8.4	6.6	1.1	0.2	47.6
- range	0-2	0-3	1-10	2-10	2-11	1-11	2-12	4-17	7-11	5-9	0-3	0-1	39-70
Median time (PST) of:													
- onset	*	1400	1500	1300	1200	1200	1100	1100	1300	1400	1200	*	
- cessation	*	1800	1900	2000	2000	2000	2000	2000	1900	1800	1600	*	
Mean daily duration (hr):													
	5.3	4.4	5.8	6.7	6.6	7.6	8.8	8.4	5.9	5.1	5.1	3.0	
Mean wind speed (m/s):													
- before	0.7	1.4	1.3	1.5	1.7	1.4	1.0	1.0	1.3	1.1	0.6	1.1	
- during	2.2	2.8	3.1	3.5	3.3	3.3	3.3	3.3	2.9	2.3	2.5	3.9	
- after	1.4	1.3	1.4	1.8	1.9	1.9	1.5	1.5	1.2	0.9	1.3	0.4	
Most frequent wind direction:													
- before	360/20	30	30	30/40	30	30	30/270	40	30	30	360	*	
- during	220	240	210	230	240	240	240	230	220	220	220	210	
- after	360/20	330	30	360	280	260	260/270	270	260	340	30	*	

*Indeterminate

TABLE 2.2. Monthly statistics for sea-breezes at Vancouver International Airport

Month	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Year
Frequency of occurrence (days):													
- mean	3.2	4.1	6.9	7.7	9.4	8.5	11.5	11.0	8.9	8.7	3.8	2.2	85.9
- range	0-8	1-7	3-11	5-12	5-14	2-16	8-16	5-17	6-13	6-13	0-9	1-4	78-97
Median time (PST) of:													
- onset	1400	1300	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1100	1200	1300	1500	
- cessation	1400	1900	1900	2000	1900	1900	1900	1900	1900	1800	1700	1700	
Mean daily duration (hr):													
	4.9	6.7	8.1	8.6	9.0	8.3	7.9	8.3	8.9	7.2	5.5	4.1	
Mean wind speed (m/s):													
- before	1.1	1.4	1.3	2.0	2.2	2.4	2.3	2.2	1.3	1.4	1.1	1.1	
- during	2.5	3.6	3.5	3.3	3.2	3.1	3.0	3.1	3.1	3.1	2.9	2.9	
- after	1.4	2.1	1.8	1.9	1.9	2.3	2.3	2.3	1.3	1.1	1.1	1.3	
Most frequent wind direction:													
- before	90	100	100	90	100	100	120	120	110	110	100	90	
- during	220	240	210	230	240	240	240	230	220	220	220	210	
- after	90	90	360	90	200	190	180	90	100	90	60	110	

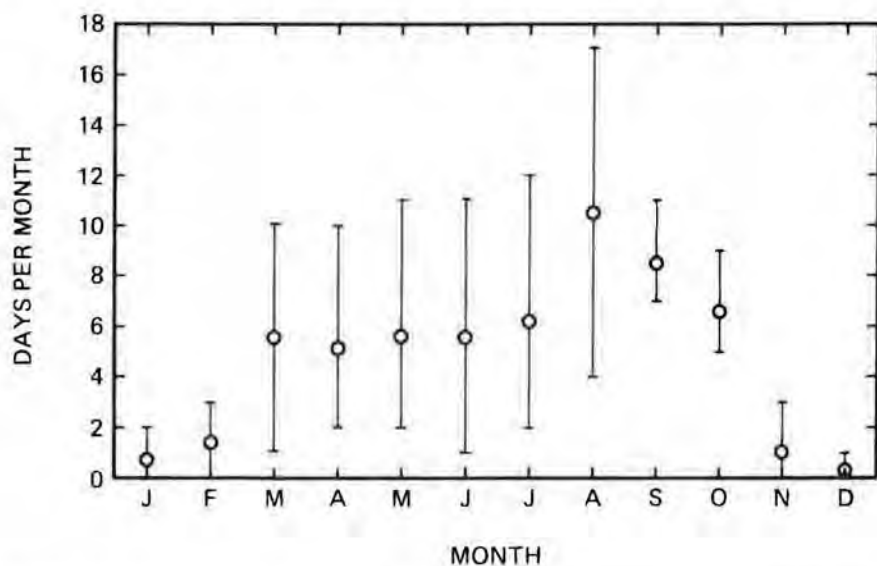


FIGURE 3.1. Mean monthly frequency and range of frequency of occurrence of sea-breezes at Abbotsford Airport.

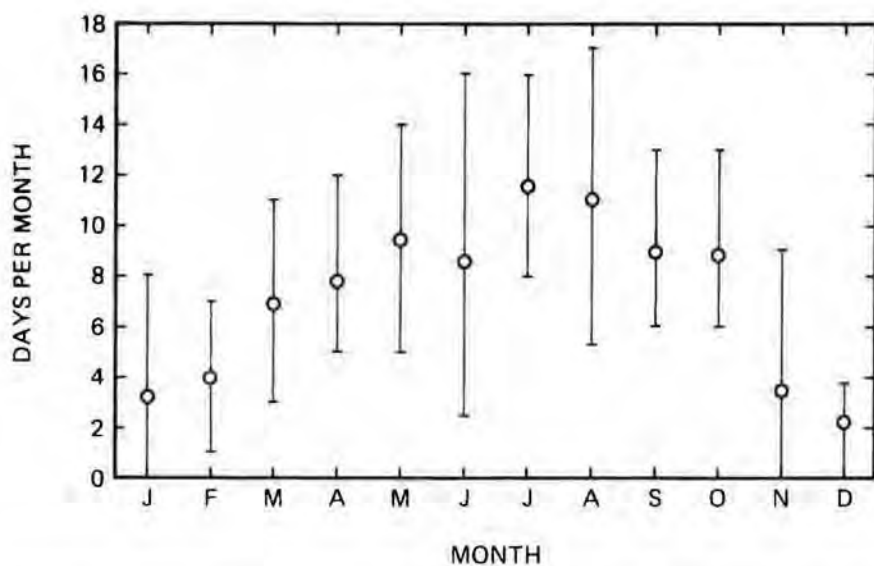


FIGURE 3.2. As for Figure 3.1, but for Vancouver International Airport.

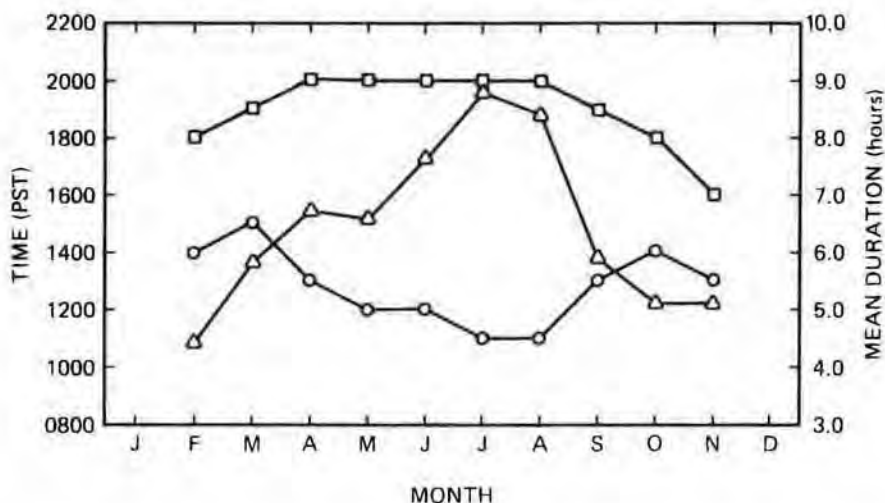


FIGURE 4.1. Median time of onset (○) and cessation (□), and mean duration (Δ) of sea-breezes at Abbotsford Airport by month. The data for January and December are indeterminate because of sparse data.

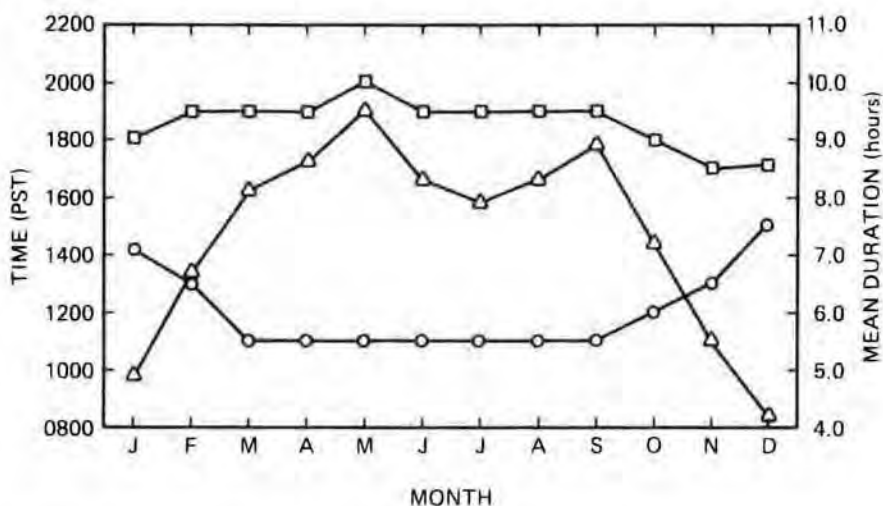


FIGURE 4.2. As for Figure 4.1, but for Vancouver International Airport.

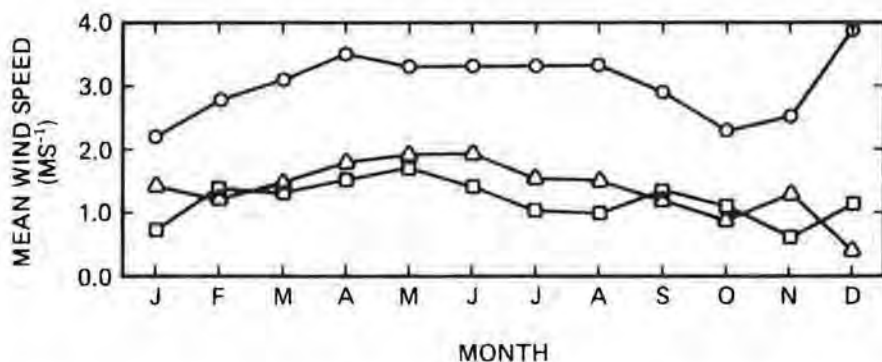


FIGURE 5.1. Mean wind speeds before (□), during (○) and after (△) sea-breezes at Abbotsford Airport by month.

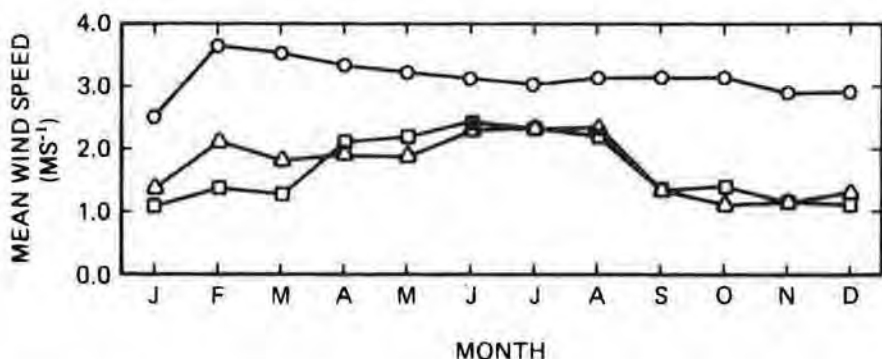


FIGURE 5.2. As for Figure 5.1, but for Vancouver International Airport.

both sites with very little monthly variation. Similarly, the flows before and after appear to be roughly comparable at 1 to 2 ms⁻¹ in most months.

These descriptive statistics bear no surprises when contrasted with data for comparable mid-latitude locations as summarized by Atkinson (1981). The minor differences between the two sites are clearly due to their different distances from the coastline. The following section will show quite marked differences in the hourly averaged statistics at the two sites.

4.2 Mean hourly behaviour

While the statistics presented in Tables 2.1 and 2.2 and examined in section 4.1 give an indication of the behaviour and occurrence of sea breezes on a monthly time scale, it is instructive to examine their behaviour at much shorter time scales. In particular, the average hourly hodographs are of interest as they

show the inter diurnal 'rotation' of wind direction (Atkinson, 1981). This form of diagrammatic representation has been used by McCaffery (1966), who shows very clearly the veering (for the northern hemisphere) of wind during sea breeze days at Kinloss, Scotland. In the case of an unobstructed simple coastline, the rotation results in the sea – and land breezes blowing nearly parallel rather than perpendicular to the coastline in their late stages (Atkinson, 1981). We will show how topographic influences modulate this effect in the lower Fraser valley.

A preliminary analysis of hourly average hodographs for each month at Vancouver International Airport shows two distinct patterns, distinguished by the presence or absence of a southerly component in the daytime winds. The months April to August show a consistent southerly component which was absent in the remaining months. In order to demonstrate this, hodographs were compiled for these two sub-annual periods which correspond roughly with the summer and winter seasons. While it must be realized that the use of a monthly averaging interval is arbitrary, a smaller one (say ten days) would reduce the sample size to unreasonably small values. The result of this is that the two "seasons" described above are defined with a resolution of one month. Figures 6.1 (a) and 6.1 (b) illustrate the hodographs for Vancouver International Airport during these two "seasons".

Both hodographs show clearly the onshore/offshore nature of the sea-breeze/land-breeze circulation. This is not surprising since it is built into our defining criteria. What is remarkable is the very steady transition between the regimes, each transition lasting 4 to 5 hours. Both onshore and offshore regimes have surprisingly constant speed and direction during both "seasons".

While both hodographs show the rotation due to the effect of the Coriolis force on the evolving circulation, two distinct types of topographic effect are seen to be important in the two seasons. In the case of Vancouver International Airport in the summertime, (Figure 6.2a) upslope and downslope winds related to the north shore mountains are important before and after noon respectively. The wintertime case (Figure 6.2b) shows a simple onshore/offshore pattern, presumably due to the effect being a largely local one because of smaller radiant forcing. The Abbotsford Airport data (Figure 6.1a,b) show the dominance of channelling by the upper Fraser valley which trends roughly North East-South West (see Figure 1).

An additional dynamical effect is indicated by the presence of much larger southerly wind components in the summertime than in the wintertime during the hours 0800 to 2000 (roughly corresponding to times of incoming shortwave radiation during summer). It is presumed that these southerly components are due to a superposition of an anabatic flow due to solar heating of the dominant north wall of the lower Fraser valley (see Figure 1) on the sea breeze. This effect is presumably not evident in the wintertime due to much reduced solar heating, even on the equator-facing slopes. The plausibility of this mechanism is indicated by the frequent summertime

Figure 6.1 a

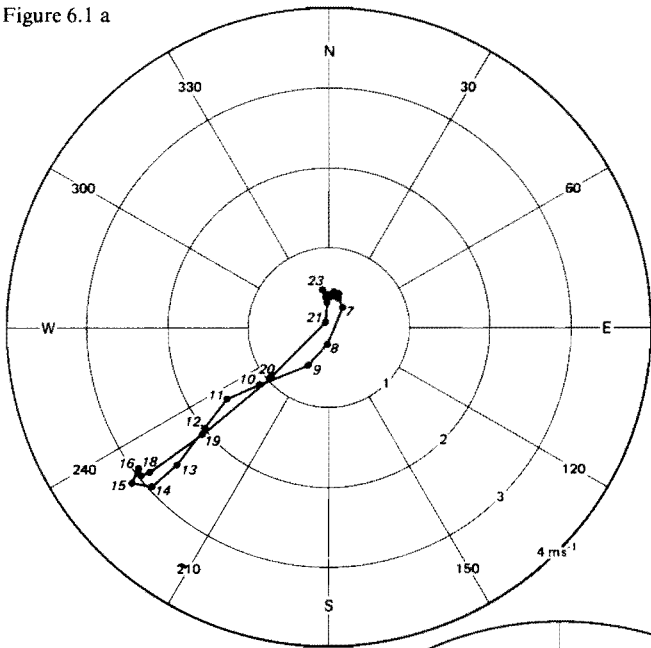


Figure 6.1 b

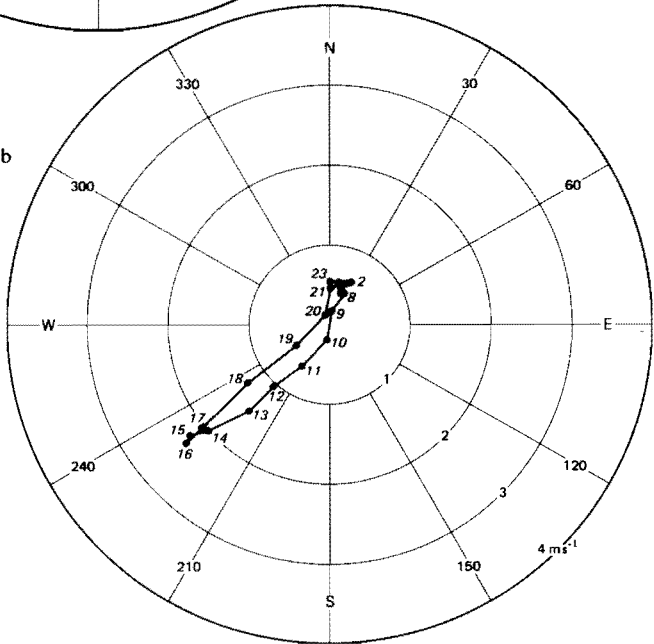


FIGURE 6.1. Hodograph of mean hourly wind vectors for sea breeze days at Abbotsford Airport. The centre represents the station and the wind vectors are directed from the plotted points towards the centre. Numbers near the plotted points indicate the time of day in standard time.
a) Summertime conditions (April to August inclusive).
b) Wintertime conditions (September to March inclusive).

Figure 6.2 a

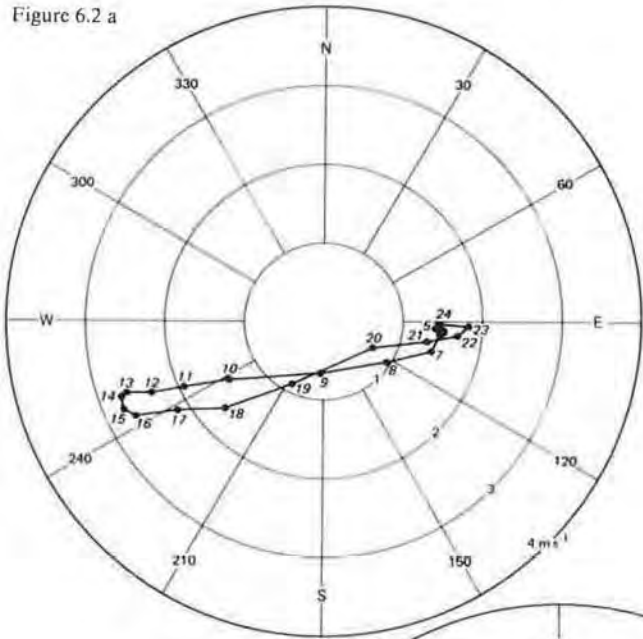


Figure 6.2 b

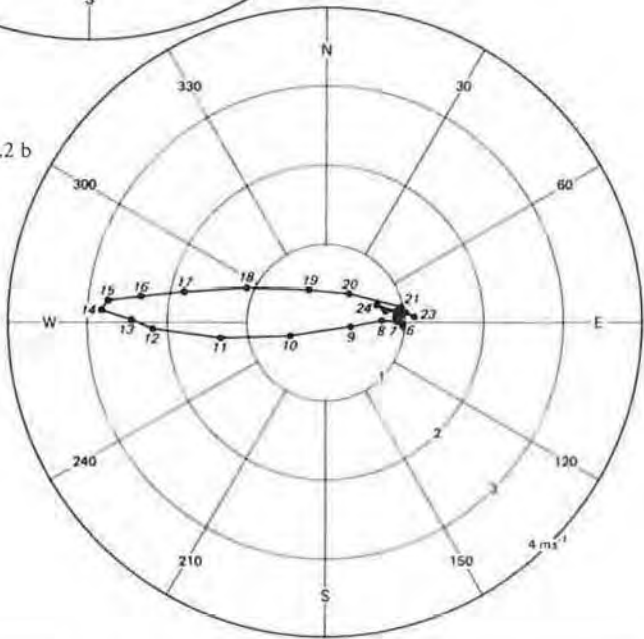


FIGURE 6.2. As for Figure 6.1 but for Vancouver International Airport.

occurrence of cumulus clouds along the north wall of the valley (Hay and Oke, 1976), and Atkinson's (1981) report of the comparable intensities of sea/land breezes and slope/valley wind systems.

The hodographs from Abbotsford airport (Figures 6.2(a) and 6.2(b)) exhibit powerful topographic constraints during both seasons. The only seasonal difference being a stronger summertime (roughly 3 m s^{-1}) than wintertime (roughly 2 m s^{-1}) upvalley flow. No significant veering (or backing) is evident, and it may be assumed that the wind direction is entirely determined by the orientation (NE/SW) of the upper Fraser valley. Since the sense of land/sea breeze and valley circulations is the same, it is not possible to determine (from the present data) the relative contributions of the two mechanisms.

Confirmation of mechanisms presumed to underly the effects observed at these two locations can only come from dynamical studies of the phenomena whose existence, scales and typical behaviour is disclosed by climatologic studies of this kind.

5. CONCLUSION

The study has demonstrated the existence in all seasons of land/sea breeze circulations in the lower Fraser valley, B.C. The descriptive statistics of mean monthly conditions show behaviour (in terms of onset, duration and intensity) similar to that observed in regions with no topographic constraints. An examination of the diurnal behaviour of wind direction shows strong interaction between the sea breeze and slope winds near the shoreline, and between the sea breeze and valley winds further up the Fraser valley.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

This work was supported by Subvention Funds from Environment Canada and grants from the Natural Science and Engineering Research Council of Canada. Tim Oke provided extensive and helpful comments on an early manuscript. Sandra Pan typed the final manuscript while Paul Jance drafted the diagrams.

REFERENCES

- Atkinson, B.W., 1981: *Meso-scale Atmospheric Circulations*, Academic Press, London, 495 pp.
- Barbato, J.P., 1978: Areal parameters of the sea breeze and its vertical structure in the Boston basin. *Bull. Amer. Meteorol. Soc.*, 59, (11), 1420-1431.
- Biggs, W. Gale and Maurice E. Graves, 1962: A lake breeze index. *J. Appl. Meteor.*, 1, (4), 474-480.
- Concord Scientific, 1982: *Final Report, Vancouver Oxidant Study, Air Quality Analysis*. Prepared for Environment Canada, Environmental Protection Service,

Vancouver, B.C.

- Emslie, J.H., 1968: Wind Flow in Burrard Inlet, Vancouver, B.C., A Summary of Six Years of Data. Canada, Department of Transport, Meteorological Branch, Toronto. Circular TEC-686, 14 pp.
- Hay, J.E. and T.R. Oke, 1976: *The Climate of Vancouver*, Tantalus Research, Vancouver, 49 pp.
- Lyons, W.A., 1972: The climatology and prediction of the Chicago lake breeze. *J. Appl. Meteor.*, 11, 1259-1270.
- McCaffery, W.D.S., 1966: *On Sea Breeze Forecasting Techniques*. Memorandum No. 12, Forecasting Techniques Branch, Met. Office, London.
- Waldichuk, M., 1957: Physical oceanography of the Strait of Georgia, British Columbia. *Journ. Fish. Res. Bd. of Canada*, 14, (3), 321-486.
- Walsh, J., 1974: Sea breeze theory and applications. *J. Atmos. Sci.*, 31, (8) 2012-2026.

Fluctuations thermiques et héliométriques hivernales au Québec (1945-1979)

André Hufty

Département de géographie

Université Laval

Québec (Québec)

G1K 7P4

[Manuscrit reçu le 20 janvier 1986; révisé le 27 mai 1986]

RÉSUMÉ

Pendant la période 1945 à 1979, les températures et les nébulosités hivernales ont, le plus souvent, fluctué dans des sens opposés au nord et au sud de Québec (une baisse de la température et une hausse conjointe de l'ensoleillement dans le nord coïncident avec un hiver plus doux et plus couvert dans le sud, ou l'inverse). Ces fluctuations ont été reliées à des variations des champs de pressions en altitude, à des échelles temporelles différentes, de la journée à la décennie.

SUMMARY

A study of winter temperature and cloudiness was conducted for the province of Québec during the period 1945 to 1979. It was found that for the northern and the southern parts of the state, these variables fluctuated in opposite senses. These fluctuations were found to be related to pressure variability at high altitude. Consistent patterns of pressure variability were related to these temperature and cloudiness fluctuations at all time scales studied, ranging from daily to decennial.

a) INTRODUCTION

La plupart des études de "fluctuations climatiques" concernent des éléments climatiques isolés de leur contexte et il faudrait davantage parler d'anomalies thermiques, pluviométriques... que climatiques. Nous avons essayé, dans cette note, de considérer deux éléments, la température et l'ensoleillement, sans essayer cependant de les relier a priori par un modèle physique ou statistique.

Nous avons retenu trois stations québécoises considérées, par des études antérieures [Thériault, 1983 et Hufty et Périard, 1985], comme représentatives de leur région et situées dans des zones climatiques différentes. La période considérée commence en 1945, époque à laquelle le réseau de mesures de l'ensoleillement s'est étendu vers le nord.

Il peut être intéressant d'étudier d'abord les fluctuations annuelles, mais il faut descendre à l'échelle saisonnière ou journalière pour voir

apparaître des phénomènes plus intéressants qui sont reliés aux anomalies de la circulation atmosphérique. À titre d'exemple, nous avons seulement retenu la période hivernale.

1. *Fluctuations thermiques annuelles*

Le tableau 1 montre que la période la plus chaude s'est terminée vers 1945-50 pour l'hémisphère nord et 1950-55 pour le Québec, un peu plus tôt dans le sud, un peu plus tard dans le nord. La température a ensuite fluctué autour de la moyenne jusqu'en 1961 pour faire place à une période plus froide de 1962 à 1972. Les années subséquentes montrent une grande irrégularité thermique avec une tendance actuelle à la hausse, mais trop récente pour en tirer des conclusions. L'irrégularité interannuelle reste cependant le phénomène le plus remarquable (voir par exemple la station de McGill, 1871-1975, [Hufty, 1981]), mais il est masqué par les moyennes de cinq années.

La période de trois ans la plus chaude s'étend de 1951 à 1953 dans le sud du Québec et de 1953 à 1955 dans le nord. L'année chaude de 1953 ne s'est pas étendue au-delà du 50^e parallèle et l'année chaude de 1955 n'a pas atteint le sud-est du pays.

Les périodes les plus froides calculées à partir des moyennes de trois ans laissent également voir des décalages temporels entre le sud (1961-1963 et 1970-1972) et le nord (1963-1965). La correspondance la meilleure entre

TABLEAU 1. Écarts annuels moyens des températures moyennes et des ensoleillements (périodes de 5 ans)¹

	hémisphère nord	températures			Ensoleillement	
		Lennoxville 45°22'N	Albanel 48°53'N	Inukjuak 58°27'N	Lennoxville	Inukjuak
1945-49	+0,08	-0,15	-0,52	-0,36	100	101
1950-54	+0,04	+0,25	+0,58	-0,06	92	103
1955-59	-0,06	-0,35	-0,32	+0,04	105	97
1960-64	-0,01	-0,45	-0,42	-0,26	106	96
1965-69	-0,21	-0,45	-0,22	-0,36	104	96
1970-74	-0,19	-0,35	-0,72	-0,66	99	111
1975-79	-0,06	-0,05	-0,22	-0,66	100	113
Maximum annuel	+0,48	+1,55	+1,68	+2,03	112	126
année	1981	1953	1953	1955	1963	1974
Minimum annuel	-0,42	-1,15	-1,92	-3,76	82	85
année	1972	1962, 1978	1972	1972	1954	1957

1) différences à la normale, 1946-1960, en °C pour les températures et en pourcentages de cette moyenne pour l'ensoleillement

2) Kelly... [1982]

les stations de Lennoxville, Albanel et Inukjuak semble s'obtenir en décalant les périodes à mesure qu'on va vers le nord, qui subit les tendances avec retard de plusieurs années. C'est davantage une hypothèse à vérifier qu'une relation bien établie.

2. *Fluctuations de l'ensoleillement*

L'évolution de l'insolation (tableau 1) montre une relation inverse entre le nord et le sud; l'ensoleillement dépasse la normale dans le sud entre 1955 et 1969 dans le sud du Québec mais est déficitaire dans le nord pendant la même période.

En regroupant la période en 3 décennies et en travaillant cette fois à l'échelle saisonnière (tableau 2), des tendances plus précises apparaissent [Hufty, 1984].

TABLEAU 2. Comparaison saisonnière de l'ensoleillement à Lennoxville (LE) et à Inukjuak (IN); valeurs en pourcentages de la moyenne 1947-1976

	hiver		été		printemps et automne	
	(décembre à mars)		(juillet à sept.)			
	IN	LE	IN	LE	IN	LE
47-56	106	88	100	101	100	96
57-66	92	109	91	101	90	105
67-76	101	104	108	99	106	98

Les trois décennies ont des allures saisonnières et régionales différentes: entre 1947 et 1956, de décembre à juin, il a été très rare de trouver un mois bien ensoleillé dans le sud; il s'agit d'ailleurs de la période la plus remarquable et la plus constante au cours de 30 années de mesures. De 1957 à 1966, la majorité des mois, quelle que soit la saison, ont connu une isolation moyenne ou forte à Lennoxville. De 1967 à 1976, c'est l'irrégularité qui domine et les périodes continues favorables au sud ou au nord ne durent guère plus de deux mois consécutifs alors que les périodes de 5-6 mois ont été nombreuses de 1945 à 1955. Les hivers sont relativement plus ensoleillés au sud et le début de l'automne (septembre et octobre) plus ensoleillé au nord.

Enfin, le tableau 1 montre, qu'à l'échelle choisie, les fluctuations de la température et de l'ensoleillement semblent indépendantes l'une de l'autre. Cependant, en passant à l'échelle saisonnière – nous nous sommes limités à l'hiver dans cette note – nous allons voir apparaître des régularités que nous pourrions mettre en relation avec les fluctuations de la pression atmosphérique.

b) LA SAISON HIVERNALE

1. *Comparaison des hivers entre deux décennies*

Deux auteurs [Dickson et Namias, 1976] ont comparé deux séries décennales d'hivers dans l'est des États-Unis. Nous avons étendu leur travail au Québec en

conservant les mêmes séries, c'est-à-dire les hivers de décembre 1947 à février 1957 et de décembre 1957 à février 1969 (tableau 3). Nous avons de plus ajouté les ensoleillements.

TABLEAU 3. Températures décennales et ensoleillement en hiver

	TEMPÉRATURES (en °C)				Ensoleillement (1945-78) (en % de la moyenne)	
	Inukjuac (58°)	Albanel (49°)	Lennoxville (45°)	Nashville (36°)	Inukjuac	Lennoxville
1947-57	-22,5	-13,9	-8,0	+5,7	110,6	88,3
1957-69	-21,8	-14,9	-9,5	+3,4	84,9	107,7
Différence	+ 0,7	- 1,0	-1,5	-2,3	- 25,7	+ 19,4

Dans le sud-est des États-Unis (par exemple la station de Nashville), la température moyenne hivernale a baissé de 2,3 entre les deux périodes. Le même phénomène se retrouve dans le sud du Québec mais s'inverse dans le nord, montrant donc une décroissance avec la latitude.

Au Québec, cette variation de température s'accompagne d'un changement opposé dans l'ensoleillement: des hivers plus chauds sont corrélés avec des hivers plus nuageux.

La répartition des altitudes de la surface isobarique de 700 mb a nettement changé entre les deux périodes [Dickson et Namias, 1976]: pendant les années chaudes, une crête plus fréquente sur le sud-est américain (le rapport entre la déviation à la moyenne et l'écart-type atteint +1,8) favorise un flux d'air chaud supplémentaire en provenance du golfe du Mexique et un creux pendant les années froides, étendu à toute la côte américaine, favorise les pénétrations d'air arctique ou polaire du nord-ouest. Une situation inverse existe dans le nord: creux anormal entre le Mackenzie et le Groënland pour les hivers 47-57 et hausse de la pression en 57-69 [figure 1D].

De plus, entre les deux décennies, la fréquence des dépressions cycloniques décroît dans la région des Grands Lacs et au sud Groënland pendant qu'elle augmente sur l'ouest de l'Atlantique, de la côte de Floride au sud-est de Terre-Neuve, le tout s'accompagnant d'une hausse du gradient de température le long de la côte américaine entre le continent et l'océan. Ce contraste thermique favorise un déplacement vers le sud-est de la zone de cyclogenèse de l'Atlantique ouest et une baisse de l'activité cyclonique associée à la basse pression d'Islande.

Deux mois de décembre illustrent particulièrement bien les relations entre les anomalies des données héliothermiques et celles de la circulation atmosphérique (tableau 4).

En décembre 1953, on a observé un gradient thermique considérable entre le sud et le nord du Québec, avec des températures très douces dans le sud accompagnées de fortes nébulosités et des records de froid dans le nord, sous un ciel clair. En décembre 1955, la situation inverse s'est

PRESSIONS RELATIVES HIVERNALES SUR LE QUÉBEC POUR DES ENSOLEILLEMENTS RELATIFS À LENNOXVILLE (45°N) ET À INUKJUAK (58°N)

ENSOLEILLEMENT RELATIF

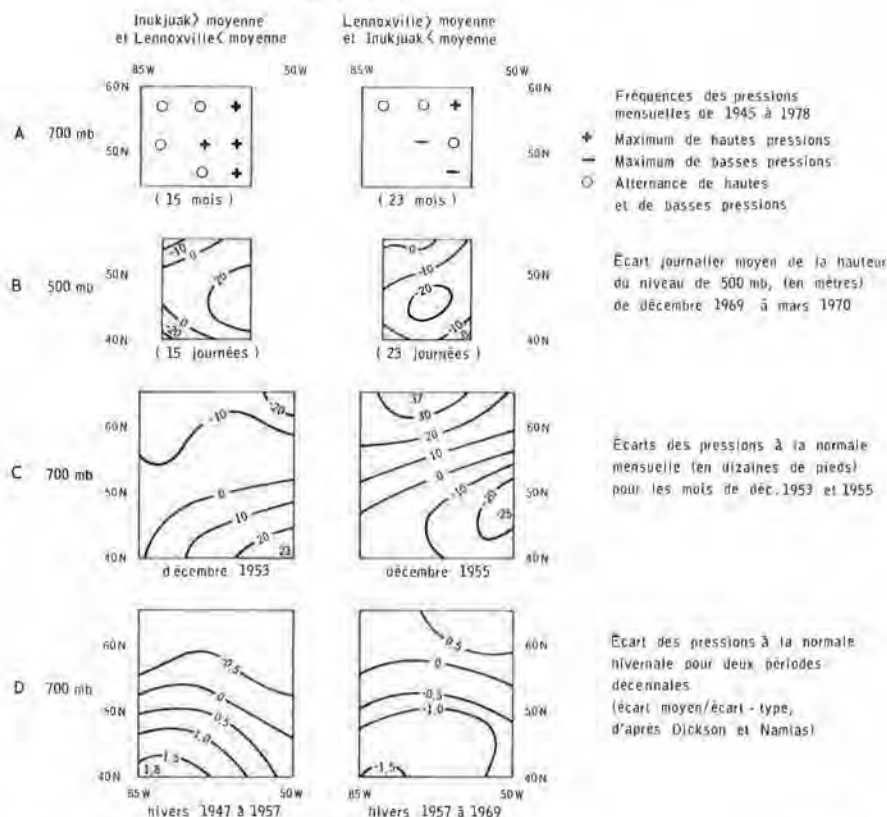


FIGURE 1. Pressions relatives hivernales sur le Québec pour des ensoleillements relatifs à Lennoxville (45°N) et à Inukjuak (58°N).

traduite par une uniformisation des températures et une nébulosité décroissante du sud au nord (voir tableau 4).

En 1953, le flux d'ouest en altitude a été très rapide, favorisant une grande activité cyclonique des Grands Lacs à Terre-Neuve et au sud-est du Groënland et un flux anticyclonique de nord-ouest au Nouveau-Québec [Winston, 1953 et figure 1C].

En 1955, le flux d'ouest a été bloqué à plusieurs reprises par des hautes pressions centrées sur la terre de Baffin. Des incursions d'air arctique anticyclonique sont descendues vers le sud-est, du nord des Grands Lacs vers

TABLEAU 4. Températures et ensoleillement en décembre

	Température (°C) moyenne		Ensoleillement en % de la moyenne 1945-78	
	décembre 1953	décembre 1955	décembre 1953	décembre 1955
Lennoxville	- 2,3	-12,3	42	105
Inukjuac	-21,8	-11,4	190	39

la Nouvelle-Angleterre où des records de froid ont été enregistrés pendant qu'un air polaire maritime perturbé de nord-est envahissait le nord du Nouveau-Québec [Andrews, 1955, et figure 1C].

2. *Comparaison entre des mois et des journées à insolation différente, pendant la période hivernale (décembre à février) de 1945 à 1975*

(i) opposition entre Inukjuak et Lennoxville

À partir des cartes publiées mensuellement dans les "Monthly Weather Review", nous avons calculé, en chaque point d'une grille centrée sur le Québec [figure 1A], les fréquences des pressions mensuelles hivernales à 700 mb supérieures ou inférieures à la moyenne de 1950 à 1978, pour deux situations différentes reprises au tableau 5.1: d'une part, insolation simultanément supérieure à la moyenne à Inukjuak et inférieure à la moyenne à Lennoxville et, d'autre part, insolation à la fois faible au nord et forte au sud.

Le premier cas correspond à des fréquences élevées de hautes pressions en altitude dans l'est du Québec et sur le Labrador et une grande

TABLEAU 5. Températures moyennes et ensoleillements relatifs à Lennoxville et Inukjuak

1. <i>valeurs mensuelles de la température moyenne hivernale, entre 1945 et 1978</i>			
	moyenne de la période (93 mois)	moyenne pour I > L (I) (15 mois)	moyenne pour I < L (I) (23 mois)
Inukjuak	-22,3	-23,2	-20,2
Lennoxville	- 9,4	- 6,4	-10,3
différence S-N	22,9	16,8	9,9
2. <i>valeurs journalières de la température, entre décembre 1969 et février 1970</i>			
	moyenne de la période (90 jours)	moyenne pour I > L (I) (15 jours)	moyenne pour I < L (I) (23 jours)
Inukjuak	- 22,0	-27,1	-19,4
Lennoxville	-11,1	- 7,5	-13,5
différence S-N	10,9	19,6	5,9

I > L: pour les 15 mois (jours) où l'insolation a été supérieure à la moyenne à Inukjuak et en même temps, inférieure à la moyenne à Lennoxville; situation inverse pour la colonne suivante

variabilité des pressions au nord-ouest; le second cas se traduit par un envahissement des basses pressions en altitude dans le centre et le sud-est du Québec, avec des hautes pressions à l'extrême nord.

Nous avons fait le même travail à une échelle journalière, de décembre 1969 à février 1970 pour le niveau de 500 mb et cartographié cette fois les écarts moyens de la hauteur du niveau, toujours pour les deux types de situations héliométriques décrites plus haut et reprises au tableau 5.2.

Les écarts à la pression moyenne sont très semblables aux écarts mensuels; on voit des hautes pressions au sud-est [figure 1B], accompagnées de basses pressions au nord-ouest et au sud-ouest, dans les cas où l'ensoleillement à Inukjuak dépasse celui de Lennoxville et, d'autre part, des basses pressions en altitude au sud du 50^e parallèle dans la situation héliométrique inverse.

Les différentes échelles temporelles sont rassemblées sur la figure 1. On voit qu'il y a une certaine cohérence dans les résultats quelle que soit l'échelle. Dans la comparaison, il faut évidemment tenir compte que les valeurs moyennes obtenues à une échelle donnée sont le résultat d'un mélange de situations très variables à une échelle temporelle inférieure (la journée par rapport au mois, le mois par rapport à la saison...) et la présence de quelques cas extrêmes peut changer une moyenne.

En hiver, un renforcement des pressions en altitude au sud ou au sud-est du Québec, accompagné d'une baisse au nord-ouest, signifie une augmentation régionale du gradient méridien de la pression et de l'intensité du flux circumpolaire de sud-ouest. Cette situation se traduit à la fois par une baisse de température et de nébulosité à Inukjuak (fréquence plus grande d'air arctique ou polaire continental) et une hausse de température et de nébulosité à Lennoxville (fréquence plus grande d'air humide de sud-ouest), donc un gradient thermique nord-sud très important.

Une hausse des pressions en altitude au nord ou au nord-est du 60^e parallèle, conjointement à une baisse des pressions au sud de 50^e parallèle, correspond à une diminution du flux d'ouest, avec de fréquents blocages de ce flux et à un gradient thermique méridien faible au sol. Le sud du Québec est ensoleillé et froid (air arctique de nord-ouest plus fréquent) et le nord, couvert et relativement chaud (arrivées d'air polaire maritime atlantique).

(ii) situations semblables à Inukjuak et Lennoxville

En rassemblant les mois où, pendant la saison hivernale 1945-1978, l'ensoleillement a été fort ou faible simultanément dans les deux stations, on obtient le tableau 6.

On constate, à la lecture de ce tableau et du tableau 5.1, que:

- (a) les cas où l'ensoleillement est du même type dans les deux endroits, soit forte, soit faible partout (19 mois au total) sont nettement moins fréquents que les situations où l'insolation est opposée (38 mois, tableau 5.1). C'est particulièrement vrai en décembre: 4 mois du même type contre 22 mois de types opposés.

TABEAU 6. Températures et ensoleillement à Lennoxville et Inukjuak (valeurs mensuelles, de 1945 à 1978, de décembre à février)

	Tous les mois (93 mois)	Mois avec forte ensoleillement ¹ (8 mois)	Mois avec faible ensoleillement ² (11 mois)
Inukjuak	-22,3	-25,3	-20,6
Lennoxville	- 9,4	-12,5	- 9,6
différence S-N	12,9	12,8	11,0

1 8 mois pendant lesquels l'ensoleillement a été supérieur à la moyenne mensuelle à la fois à Lennoxville et à Inukjuak.

2 11 mois, avec ensoleillement inférieur à la moyenne aux deux stations.

- (b) Un ensoleillement élevé dans les deux stations coïncide avec un refroidissement et une forte nébulosité avec un réchauffement.

D'autres études nous ont montré [Hufty, 1984] qu'un

ensoleillement fort dans les deux stations se rattachait à la fréquence d'un flux de nord-ouest, à l'avant d'une crête d'altitude ou à l'arrière d'un creux, avec hausse du gradient de pression SW-NE, tandis qu'une forte nébulosité sur tout le Québec correspondait à un renforcement très net des pressions dans le nord-est, un blocage du flux d'ouest et l'advection loin vers l'intérieur du continent, d'un flux maritime atlantique.

c) CONCLUSION

- (a) Les fluctuations de la circulation régionale occasionnent des fluctuations thermiques et héliométriques qui affectent différemment le nord et le sud du Québec. Dans la majorité des cas, les effets des fluctuations ont été de sens inverse entre les deux zones. Les stations situées sur l'axe Abitibi-Lac-Saint-Jean cependant, donc sur un axe intermédiaire entre le nord et le sud, ont eu des variations très faibles; à cet égard, si elles sont moins sensibles aux variations régionales, elles seraient peut-être les plus utiles quand on veut étudier des changements climatiques plus étendus.
- (b) Cette fréquence plus élevée de fluctuations mensuelles de sens inverse est suffisante pour influencer les valeurs hivernales calculées sur des périodes de 10 ans.
- (c) Sans préjuger de l'existence de causes qui se manifesteraient sur une étude spatiale plus vaste, les fluctuations climatiques hivernales observées au Québec semblent correspondre à des changements dans le régime des courants d'ouest. Ce qui rejoint d'ailleurs l'opinion de Lamb (1977) "The frequency of W'y situations over

the British Isles over the whole year has varied in a way that fairly closely parallels the indexes of strength of the North Atlantic westerlies and Trade Winds, particularly in January. The degree of parallelism with the course of global mean temperature suggests that the number of W'ly days over the British Isles is an index of global significance" (réf., p. 500).

RÉFÉRENCES

- Andrews, J.F. (1955) The Weather and Circulation of December 1955, *Monthly Weather Review*, 83, p. 327-335.
- Bolduc, A. et G.-O. Villeneuve. (1964) *Sommaire héliométrique du Québec*. Ministère des Richesses naturelles, Service de la météorologie, Québec.
- Dickson, R. and J. Namais. (1976) North American Influences on the Circulation and Climate of the North Atlantic Sector. *Monthly Weather Review*, 104, p. 1255-65.
- Hufty, A. (1981) Fluctuations climatiques récentes au Québec. *Géogr. Phys. et Quat.*, vol. 35, no 1, p. 49-56.
- (1982) Analyse en composante principale des situations synoptiques au Québec. *Géogr. Phys. et Quat.*, vol. 36, no 3, p. 307-314.
- Hufty, A. et M. Thériault. (1983) Des erreurs systématiques dans les données canadiennes de la durée d'ensoleillement?, *Climatological Bulletin*, vol. 17, no 1, p. 29-35.
- Hufty, A. et G. Périard (1985) *Typologie des rapports d'insolation au Québec (1968-1977)*. *Le Géographe canadien*, 29, 340-349.
- Hufty, A. (1984) *Fluctuations récentes de l'insolation au Québec* (sous presse; communication à l'ACFAS, Québec).
- Kelly, P.M., P.D. Jones, C.B. Sear, B.S.B. Cherry and R.K. Tavakol (1982) Variations in Surface Air Temperature. Part 2, Arctic Regions, 1881-1980. *Monthly Weather Review*, vol. 110, p. 71-83.
- Lamb, H.H. (1977) *Climate, Present, Past and Future*, vol. 2. Methuen Co., Londres.
- Mikami, T. (1978) Regional Differences of Temperatures Variations over the Northern Hemisphere. *Bull. Dept. Geogr.*, Univ. de Tokyo, no 10, p. 11-30.
- Thériault, Marius (1983) Une typologie des régimes climatiques du Québec, Thèse de doctorat, Département de géographie, Université Laval.
- Thomas, M.K. (1975) *Dernières fluctuations climatiques au Canada*. Environnement Canada, étude climatologique no 28, Toronto.
- Winston, J.S. (1953) The Weather and Circulation of December 1953, *Monthly Weather Review*, 81, p. 392-396.

News and Comments · Nouvelles et commentaires

ATLANTIC REGION CLIMATE WORKSHOP

Peter Dzikowski, P.Ag., Chairman NSCAC
Nova Scotia Department of Agriculture and Marketing, Truro

On October 30, 1985 a Climate Workshop was held in Dartmouth, Nova Scotia sponsored by the N.S. Climate Advisory Committee. Over a dozen papers were presented on topics including, the Canadian Climate Program, climate network design, several mesoscale climate network reports, dataloggers, and climate applications for agriculture and water resources management. In addition, there were short presentations by the Newfoundland and Labrador, New Brunswick and Nova Scotia CACs.

Proceedings of the meeting will be published the summer of 1986.
Anyone wishing to obtain a copy should contact:

Mr. Bill Richards
Atmospheric Environment Service
1496 Bedford Highway
Bedford, Nova Scotia
B4A 1E2
or call: (902) 835-9529

A limited number will be printed so respond promptly if you are interested in obtaining a copy.

CANADIAN ASSOCIATION OF GEOGRAPHERS
ANNUAL MEETING 1986

Patti Papirnik

Research Management Division
Alberta Environment
Edmonton, Alberta

The Canadian Association of Geographers Annual Meeting was held June 18-24, 1986 in Calgary, Alberta. There were approximately 300 attendees. There were three sessions on climatology and the related field of remote sensing and climate.

T. Oke (British Columbia) chaired the first session in the morning of Friday, June 20, 1986. The first paper concerning orographic effects on rainfall patterns in Newfoundland was presented by C. Banfield (Memorial). His study found that the degree and form of topographic control over the spatial pattern of surface rainfall amounts, rates and duration was shown to vary with wind, humidity and stability conditions. M.B. Giovinetto (Calgary) discussed atmospheric water vapour and latent heat fluxes in the southern polar region. His findings suggest that these fluxes may be overestimated by approximately 15% and adjustment to these fluxes in world and southern hemisphere climate models is warranted. From the antarctic, interest shifted to subarctic Canada. S.J. Vermette (McMaster) discussed the summer precipitation chemistry in Churchill, Manitoba. The concentration of elements was found to vary with rain events, dependent on surface cover and air trajectory. The final paper of the session concerned avalanche hazard and climate and was given by R. McFarlane (Maine). She concluded that the avalanche hazard in Maine was limited in its aerial extent but is affected by an increasing number of winter recreationists. A multidirectional snowfall pattern, which brings moisture eastward from the Great Lakes and northward from the Gulf of Mexico, was also a factor.

Three additional papers were presented in the afternoon session chaired by M.B. Giovinetto (Calgary). T. Oke and H. Cleugh (British Columbia) provided estimates of the urban heat storage in Vancouver. These first estimates of the hourly variation of heat storage were derived as residuals when the radiative and turbulent components of the energy balance are determined separately. Energy balances were also dealt with by W. Rouse and S. Hardill (McMaster) in their paper concerning the comparison of the energy balance of the Hudson and James Bay Lowlands. The final paper was a joint paper by members of the AgMet Ratings Group of the Agrometeorology Advisory Committee and was presented by S. Dupuis (Alberta Department of Forestry, Lands and Wildlife). He presented the recently completed report on the agroclimatic classification for Alberta. The climatic classification uses energy, moisture and risk factors specific for crops grown in Alberta.

On Saturday, June 21, the session on remote sensing and climate featured three papers. P. Howarth (Waterloo) reported on work undertaken in the Saskatchewan River Basin which focussed on the use of satellite imagery for developing measures of climatic variability from snow cover and vegetation mapping. The application of remote sensing for plant resources management was presented by G.-H. Lemieux (Quebec à Chicoutimi). The final paper by S.J. Walsh (Oklahoma State), compared advanced very high resolution radiometer satellite data to meteorological drought indices such as the Palmer Drought Severity Index.

The next CAG is scheduled for May 27-31, 1987 at McMaster University, Hamilton, Ontario.

AGROMETEOROLOGICAL TECHNICAL SESSION AT THE AGRICULTURAL INSTITUTE OF CANADA CONFERENCE, 1986

Elaine Wheaton

Saskatchewan Research Council
Saskatoon, Saskatchewan

D. Murray Brown

University of Guelph
Guelph, Ontario
N1G 2W1

The first Agrometeorological Technical Session at an Agricultural Institute of Canada (AIC) Conference was held on July 8, 1986 at the University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan. The primary organizers were Murray Brown, and Elaine Wheaton. Eleven papers and one poster were presented addressing the two main themes of climate/weather information for agriculture and climate/land ratings. Murray Brown chaired the session.

Three speakers of the first session elaborated upon methods of obtaining agroclimatic data at the meso-scale for specific regions. P. Dzikowski (Nova Scotia) reported upon the data collection program intended to produce climate maps at 1:50,000 scale for major agricultural areas of Nova Scotia. S. Dupuis (Alberta) informed us of the findings of the climate inventory of the Lower Peace River Region, Alberta. B. Schneller's (Ontario) presentation concerned the on-farm season weather recording projects in Ontario. These talks emphasized the usefulness of climate and weather information for farm management and planning processes.

The remaining talks of this first theme focussed upon aspects of monitoring. Comments on the why, how and what of environmental monitoring, including an overview of the main problems of using small portable automatic data acquisition systems, were provided by C. Labine (Alberta). The results of a field test of a data collection system that uses radio telemetry to transmit real-time agrometeorological data to a computer in the laboratory were provided by H. Hayhoe and D. Balchin (Ottawa) and presented by A. Bootsma (Ottawa). The system was found to compare favourably with the telephone to automatically transmit data. The final talk of this theme was an assessment of the response of winter wheat to environmental humidity and was given by M. Kalliomaki (Guelph). The response of necrotic winter wheat tissue to humidity affects the fungal infection of the crop.

Papers of the second theme addressed various aspects of the climatic resources for agriculture. The agroclimatic classification for Alberta uses energy, moisture, risk and several others factors specific for crops grown in Alberta, presented by S. Dupuis. A. Bootsma (Ottawa) detailed a project to assess climatic risks for agricultural production in the Prairie Region. Climatic risk assessment emphasizes the risk of occurrence of abnormal values. K. Jones (Regina) also dealt with abnormal values in terms of estimating the climatic change effects on drought frequency and duration in Southern Saskatchewan. Analyses using the Palmer Drought Indices indicated that a dramatic increase in drought frequencies would occur with climatic warming. W. Nicholaichuk (Saskatoon) characterized the distribution and variability of precipitation on a small agricultural watershed in southwest Saskatchewan. He found that rainfall events of 6 mm or less represent an agriculturally significant portion of the growing season rainfall. The application of agrometeorological principles to crop studies at various scales, including the micro-scale (leaf photosynthesis and insect pest management), the meso-scale (energy exchange in plant canopies and fruit development) and the macro-scale (computing crop district yields for various climatic scenarios), was presented by Wm. J. Blackburn. The final presentation, by A. Bootsma (Ottawa), was a poster prepared by L.M. Dwyer, A. Bootsma and H.N. Hayhoe, displaying the estimation of soil temperature under snow cover. Various models were compared, with snow depth included in the revised model.

The session was very well attended by agrologists and other professionals across Canada and much discussion ensued. The titles, authors, and abstracts of these papers are available from either D.M. Brown or E. Wheaton. There will be no proceedings of this first session published, but if more information is desired please write for a copy of the abstracts and further information can be obtained from the senior author of each paper. The next Agrometeorological Session with AIC will be held at London, Ontario during August 23 to 26, 1987.

A business meeting was held before the session and the participants agreed, with enthusiasm, to the formation of a Canadian Society of

AgroMeteorology (CSAM). An executive and an initial set of terms of reference were established. Persons on the agrometeorologists mailing list will be sent further information. If you are not on the list, contact D.M. Brown (Dept. of Land Resource Science, Ontario Agricultural College, University of Guelph, Guelph, Ontario N1G 2W1) for more information.

ALBERTA CLIMATE RESEARCH AND MONITORING PROJECT CATALOGUE

Bonnie L. Magill

Research Management Division

Alberta Environment, Edmonton, Alberta

Directories and annual reports published by various agencies contain limited information on climate research and monitoring activities in Alberta. These documents illustrate the diverse applications of climate data. However, there is not one single publication which highlights all the applied climate and climate research and monitoring programs.

The Research Management Division, Alberta Environment, will be coordinating the compilation of an inventory of climate research and monitoring programs in Alberta undertaken or funded by government (federal and provincial), industry, universities, research institutes, and the private sector.

The information provided by the inventory will facilitate the exchange of information and coordination of research and monitoring activities. The inventory will be updated annually to inform members of the climate community of ongoing and current activities.

The inventory will be published as part of the Proceedings of the Alberta Climatological Association 1986 Annual Workshop. The Proceedings will be available in the fall of 1986.

EMPLOYMENT ANNOUNCEMENT

The University of Alberta
Department of Geography
Edmonton, Alberta, Canada

BIOGEOGRAPHER OR CLIMATOLOGIST

Applicants are sought for one tenure-track position in Biogeography or Climatology at the Assistant Professor level beginning January 1, 1987. Ph.D. completed or in final stages required. The applicant is expected to teach undergraduate and graduate courses in biogeography or climatology. A strong research, teaching and publication record in one of these areas is desirable. The applicant is also expected to contribute to the graduate and research activities of the department.

Please send applications with resume, transcripts and names and addresses of three referees to:

Dr. John Hodgson, Chairman
Department of Geography
University of Alberta
Edmonton, Alberta
T6G 2H4

CLOSING DATE: October 31, 1986.

The University of Alberta is an equal opportunity employer but, in accordance with Canadian Immigration requirements, this advertisement is directed to Canadian citizens and permanent residents. *The Division of Meteorology within the Department of Geography is active in research in physical, synoptic and micrometeorology, and offers B.Sc., M.Sc. and Ph.D. degree programs in meteorology.*

Book Review / Critique de livre

GREAT LAKES CLIMATOLOGICAL ATLAS. Andrej Saulesleja, ed. Environment Canada, Toronto, 1986, 145 pp, \$9.95 (outside Canada, \$11.95); Available from Canadian Government Publishing Centre, Supply and Services Canada, Ottawa K1A 0S9, catalogue no. EN56-70/1986.

This is an attractive atlas, with maps of adequate size for clarity and sufficient detail, and parameters to describe many conditions of the Great Lakes. Fifteen pages of bilingual text offer sufficient information to understand how most of the parameters were computed. Although weekly median ice cover during the ice season is presented, most other mean parameters are shown for monthly and/or seasonal intervals. The presentation of frequency of occurrence, in addition to mean values of certain parameters is particularly useful information, in that the former confers a much more complete understanding of the variability of weather and climate, and facilitates planning decisions.

Charts of monthly mean air and water temperature, and weekly median and mean minimum ice cover for the ice season are presented. The spatial distribution of mean seasonal wind direction and speed are also presented for each of 12 homogeneous climate regions of the Great Lakes, along with mean seasonal wind roses, and wave height exceedances for each of the Great Lakes, followed by the spatial distribution of seasonal percent frequency of occurrence of visibility less than 1 km, precipitation, and 5/8 or more cloud cover. These charts are followed by figures showing monthly mean and extremes of the following parameters for each of the 12 climatic regions: Air temperature, relative humidity, water temperature, air-water temperature difference, wind speed (with most frequent direction by month), wave height, wind chill, freezing spray potential, visibility, precipitation character, cloud cover by category, thunder, and "good" shipping weather. ("Good shipping" was defined as times with winds less than 25 knots and visibility greater than 2 nautical miles).

The configuration of monthly mean (air) isotherms is mostly similar to (though coarser than) those for the 1951-80 period for the same area shown in Wendland *et al.* (1985), although magnitudes are generally greater

than the latter. The mean monthly isotherms presented in the latter were derived from observations of 24-hour max/min thermometers made at several hours of the day, but adjusted to midnight-to-midnight observations. Since the magnitude of the time of observation bias can be as large as about +2C for observations made near the time of daily maximum temperature (relative to midnight observations), and about -2C for those made near the time of daily minimum temperature, this could explain the difference in temperature between the two atlases. The difference could also be due to the fact that mean temperatures derived from observations from the last 3 decades may be less than those comprised of observations accumulated from a longer period because of large scale cooling since about 1940. The finer scale features of the Wendland *et al.* atlas is undoubtedly due to greater data density over land.

Although units generally follow SI requirements, winds are given in knots and visibility in nautical miles, units more familiar to the users.

The high regard that I have for the quality and products of this atlas is marred by poor description of data quality and quantity, as well as one or two definitions left to the imagination of the reader. The quality of atlas information is largely dependent upon the number and distribution of raw data. Unfortunately, such description in this atlas is sadly lacking. Data were acquired from the World Data Centre of the U.S. National Climatic Data Centre (1951-79), and the Canadian Climate Centre (through 1980). The spatial distribution of the raw data is not presented, and the number of data used for the calculations is only presented for wave height. This omission makes much of the information presented herein of unknown quality. In addition, quality control of the data is unspecified. We are only told "Although the U.S. data have been quality-controlled, another state of quality control has been added to eliminate some spurious extremes and observations erroneously positioned over land."

Surface water temperatures were obtained from satellite infra-red data, except for Lake Michigan, where ship observations were used. The latter were "... adjusted [unspecified] to roughly conform with the average ice cover conditions."

This reviewer believes that the above omissions impair the usefulness of these charts, and should have been discussed. Even with the above problems, this atlas is a valuable addition to the increasing data base of the Great Lakes.

REFERENCE

- Wendland, W.M., J.L. Vogel & S.A. Changnon, Jr., 1985: Mean 1951-1980 temperature and precipitation for the North Central Region. NCRCC Paper No. 7. North Central Regional Climate Center, Illinois State Water Survey, 2204 Griffith Dr., Champaign IL 61820. 30p.

Wayne M. Wendland, Illinois State Water Survey

WORLD SURVEY OF CLIMATOLOGY 1A – HEAT BALANCE CLIMATOLOGY.
A. Kessler. Editor: O. Essenwanger. Elsevier Science Publishers, Amsterdam,
1985, xii & 224 pages, US \$55.50; ISBN 0-444-42205-6.

As explained by the editor and author in the foreword, this volume was intended for publication in the early 1970's, but due to a variety of problems, had to be postponed. In the process the editorship changed and Volume 1 was enlarged to two volumes 1A and 1B. This report is concerned only with 1A entitled "Heat Balance Climatology".

The book is divided into 6 chapters as follows:

CHAPTER 1 Introduction

CHAPTER 2 Heat and radiation budget of the earth-atmosphere system

CHAPTER 3 Net radiation on the earth's surface

CHAPTER 4 Latent heat flux on the earth's surface, evaporation and condensation

CHAPTER 5 Sensible heat flux on the earth's surface

CHAPTER 6 Heat flux into the ground

The text comprises 190 pages with another 16 pages of references and 3 appendices. There are copious illustrations with 75 figures and 71 tables and, as will be noted below, these make a very important contribution to this publication. The contents of each of the substantive chapters are described briefly below.

CHAPTER 2. HEAT AND RADIATION BUDGET OF THE EARTH-ATMOSPHERIC SYSTEM

The fundamental equations for the radiation balances of the earth's atmosphere and surface are developed and Table 2 summarizes calculations of the solar constant, the planetary albedo, the solar radiation fluxes in the atmosphere and at the surface, net radiation, and the sensible and latent heat fluxes, which have been made in 32 separate studies up to 1978. Additional observations from satellites are presented and planetary calculations are divided into separate contributions from the northern and southern hemispheres.

CHAPTER 3. NET RADIATION ON THE EARTH'S SURFACE

This forms the longest and strongest section of the book consisting of 72 pages and including 25 figures and 24 tables. The organization developed in this chapter is more or less followed in subsequent chapters and consists of the following divisions:

Diurnal variation

Annual variation

Annual mean values

Relationship between global and net radiation
Net radiation of various surfaces and within plant stands
Net radiation at the surface related to altitude

This chapter is very comprehensive and only some of the highlights are discussed here. The radiation balance is divided into its component parts and discussed in terms of periods of large, small and no solar radiation, in terms of the long-wave balance, and in terms of the influence of both the earth's surface (land and water) and the earth's atmosphere on it. As in other chapters in this book, the author has compiled some wonderful tables and diagrams. For example, Figure 15 consists of a large fold-out set of diagrams, which show the diurnal and annual variations in surface net radiation for stations in both hemispheres ranging from Vostok (lat. 78°S) through Yangambi (lat. 0°) to Resolute (lat. 74°N) and including Ocean Weather Station P. Equally useful for comparative purposes is Table 17 which presents the average daily net radiation for each month for 111 locations divided into 10° zones of latitude. Toward the end of the chapter there is a section discussing radiation efficiency (net radiation/global solar radiation) in terms of variability over different surfaces and variability in time. Comparisons are made between a middle latitude and tropical site and for three distinctly different tropical crops. These comparisons illustrate nicely, the importance of season and of surface type to radiation efficiency.

CHAPTER 4. LATENT HEAT FLUX

As well as following the same general format as Chapter 3, this section differentiates between the latent heat flux over the oceans and over land surfaces. This reader found the former particularly interesting. Kessler emphasizes the considerable variability in the evaporation from large bodies of water (10 to 30% yearly) and notes, that because of its large magnitude, such variation is important to global climatic variation. Shorter term variation in the latent heat flux accompanies large scale atmospheric advective influences. Thus in the trade wind belt, variation in the atmospheric humidity changes the vertical vapour pressure gradient between the evaporating ocean surface and the overlying atmosphere, which in turn, increases or decreases the vapour flux. When cold air moves over warm water, both the temperature and humidity gradients are affected and the turbulent fluxes respond accordingly. The seasonality of the latent and sensible heat fluxes over the ocean is brought out in Table 42 which combines the results of two studies giving monthly fluxes of latent and sensible heat at Ocean Weather Station M (66°N) and Station P (34°N). This table shows the large magnitude of the latent and sensible heat fluxes in winter and the greater relative and absolute magnitude of the sensible heat flux in higher latitudes.

This is a shorter chapter than its predecessor and could have easily been combined with the latent heat section. That, however, is an editorial decision. There are a number of very useful sections in this chapter. Fig. 55 presents Terjung's world map of Bowen ratios which illustrates clearly the sharp division between oceans and continents, the strong influence of ocean currents and the very steep gradients between the wet tropics and the subtropical deserts in Africa. Table 55 is a very useful compilation, which compares the complete surface energy balance for water bodies and land surface for various latitudes and periods of the year. In addition, the table compares two studies, at 18°N and 54°N, giving maximum and minimum monthly values of the energy balance over a year long period.

CHAPTER 6. HEAT FLUX INTO THE GROUND

This chapter is most valuable for its discussion of the subsurface heat exchange in oceanic waters which, in terms of magnitude, usually greatly exceeds the subsurface flux in the terrestrial environment. As well as the global comparisons which, for example, compare subsurface heat flux calculations by Budyko and Albrecht for oceanic areas and the meridional transport by ocean currents as derived by a number of investigators, the results of intensive site specific field research are also given. Thus, Table 67 presents Robinson's work from Ocean Weather Ship A (62°N, 33°W), which calculates the heat exchange for 5 layers of the ocean to a 500 m depth, for a period of 12 months and Table 68 presents Hastenrath's monthly calculations of heat content change and heat flux divergence in the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. This combination of the general and the more specific brings to the reader a deep appreciation for the complexities of the subsurface oceanic heat flux.

My criticisms of this book are largely a result of its history. Being commissioned for the early 70's and not appearing until the mid 80's has left it out of date in a number of respects. Of some 485 references, only 39 postdate 1975 and of these only 6 were published in the 1980's. Thus the book is a strong statement of research in the global heat budget up to 1976. The weakest sections of the book relate to discussion of the heat budget over different surfaces and in plant canopies and its variability with altitude. For example, there is no mention of permafrost with its large and interesting ground heat flux regime in this text and Maxwell's excellent presentation of the large-scale energy budget of the Canadian Arctic is not referenced.

Although the foreword states that heat flux units of cal cm^{-2} were used to maintain uniformity in the World Climate Series, this reviewer finds it unfortunate that a publication in the mid 1980's does not use SI units. However, it can be appreciated, that much of the material had already been prepared in the former system.

Criticisms aside, one must feel very positive about this volume. The author has shown a deep appreciation of the physical processes involved in the heat budget as they relate to the variable ocean and terrestrial environments. The tables and illustrations are excellent, many of them are unique and they must have involved multiple hours of work in their compilation. They alone are worth many times the price of the book. I fear though, that Figure 15, the magnificent fold out diagram, will not last long in any university library. This volume also does a good job in introducing a variety of the earlier Soviet work, in addition to Budyko, to the English scientific literature.

In conclusion, this book is a worthy member of the World Climate Series, a must for all science libraries and a most useful acquisition for serious climatologists.

Wayne R. Rouse
McMaster University