Document generated on 04/24/2024 9:38 p.m.

Géographie physique et Quaternaire

Circulations atmosphériques journalières au Québec (juin 1969 — mai 1970)

Daily Circulation Patterns in the Atmosphere Over Eastern Canada (One Year)

Tägliche atmosphärische Strömungen in Québec (Juni 1969 — Mai 1970)

André Hufty

Volume 41, Number 3, 1987

URI: https://id.erudit.org/iderudit/032694ar
DOI: https://doi.org/10.7202/032694ar

See table of contents

Publisher(s)

Les Presses de l'Université de Montréal

ISSN

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

Explore this journal

Cite this article

Hufty, A. (1987). Circulations atmosphériques journalières au Québec (juin 1969 — mai 1970). *Géographie physique et Quaternaire*, *41*(3), 387–396. https://doi.org/10.7202/032694ar

Article abstract

Daily circulation patterns in the atmosphere over eastern Canada are classified on the basis of a multivariate analysis of vorticity, and of zonal and meridional geostrophic winds mean sea level and at 500 mb. With due allowance for a "proximity" effect in observations for consecutive days, diurnal succession can be viewed as a more or less random sequence, regardless of whether or not weather conditions are similar. Different seasons can be defined on the basis of the frequency of occurrence of different circulation patterns and synoptic situations.

Tous droits réservés © Les Presses de l'Université de Montréal, 1987

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

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

This article is disseminated and preserved by Érudit.

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

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

Géographie physique et Quaternaire, 1987, vol. XLI, n° 3, p. 387-396, 1 fig., 6 tabl.

CIRCULATIONS ATMOSPHÉRIQUES JOURNALIÈRES AU QUÉBEC (JUIN 1969 — MAI 1970)

André HUFTY, Département de géographie, Université Laval, Sainte-Foy, Québec G1K 7P4.

RÉSUMÉ Les circulations atmosphériquees journalières au-dessus de l'est du Canada sont classées par une analyse multivariée des rotationnels et des vents géostrophiques zonaux et méridiens au sol et en altitude. Compte tenu d'un effet de «proximité» qui lie deux journées consécutives, la succession des journées peut être considérée comme un phénomène quasi aléatoire, qu'il s'agisse de temps semblables ou de temps différents. Les fréquences des types de circulations et des situations synoptiques qui y correspondent permettent de délimiter des saisons différentes.

ABSTRACT *Daily circulation patterns in the atmosphere over eastern Canada (one year).* Daily circulation patterns in the atmosphere over eastern Canada are classified on the basis of a multivariate analysis of vorticity, and of zonal and meridional geostrophic winds mean sea level and at 500 mb. With due allowance for a "proximity" effect in observations for consecutive days, diurnal succession can be viewed as a more or less random sequence, regardless of whether or not weather conditions are similar. Different seasons can be defined on the basis of the frequency of occurrence of different circulation patterns and synoptic situations.

ZUSAMMENFASSUNG *Tägliche atmosphärische Strömungen in Québec (Juni 1969 — Mai 1970).* Die täglichen atmosphärischen Strömungen über dem Osten von Kanada werden durch eine multivariierte Analyse der Rotationswinde und der zonalen und südlichen geostrophischen Winde am Boden und in der Höhe klassifiziert. Berücksichtigt man den "Proximitätseffekt", der zwei aufeinanderfolgende Tage verbindet, kann die Aufeinanderfolge der Tage als ein mehr oder weniger unbedeutendes Phänomen betrachtet werden, egal ob es sich um gleichartige oder verschiedene Wetterbedingungen handelt. Verschiedene Jahreszeiten können durch die Häufigkeit bestimmter Strömungstypen und ihnen entsprechender synoptischer Situationen voneinander abgegrenzt werden.

INTRODUCTION

Nous avons classé et analysé les circulations atmosphériques journalières et leurs successions pendant une année, de juin 1969 à mai 1970. On sait évidemment que la turbulence atmosphérique se présente sous des formes quasi infinies. Cependant, comme certains états de l'atmosphère semblent plus stables et reviennent avec une certaine régularité saisonnière ou annuelle à cause des interactions internes dans le système atmosphérique, il semble possible et utile d'en proposer un classement, qui devra rester très ouvert et être fondé davantage sur des combinaisons d'éléments que sur des limites précises.

Nous rejoignons ici des idées exprimées récemment (NORTH, 1982) où le climat est considérée comme la « distribution probabiliste multivariée des états du système » atmosphérique et où la recherche d'une « meilleure description de ces états constitue une des tâches premières de la climatologie moderne ».

En particulier, les auteurs qui emploient des méthodes dites « objectives » évitent de classer les types de temps à partir des catégories déjà définies par la météorologie synoptique, telles les systèmes frontaux, les masses d'air... Ils tentent plutôt, par des procédés statistiques répétables et quantifiables, d'induire les formes les plus fréquentes des champs climatiques.

Nous avons déjà décrit certains des procédés les plus couramment utilisés (HUFTY, 1982). Ils sont très bien répertoriés dans la littérature (BARRY et PERRY, 1973 ; BARRY, 1980 ; PETZOLD, 1982 ; PERRY, 1983). La plupart des chercheurs ont analysé un seul niveau de pression malgré l'importance des influences réciproques des niveaux successifs. Pour combler cette lacune, nous avons utilisé conjointement deux niveaux, le sol et 500 mb. Ce faisant, nous posons à priori que l'atmosphère peut être modélisée très sommairement par une colonne d'air qui stagne, se déplace ou tourbillonne au-dessus d'une région dont elle influence le temps.

Nous choisissons, à la suite d'études précédentes (LITYNSKI, 1970 ; HUFTY, 1981) de décrire cette colonne à partir d'indices extraits des champs de pression au sol et à 500 mb : vent zonal, vent méridien, rotationnel relatif et pression absolue.

Il est certain que ce modèle statique très simple repose sur un choix de variables, dicté d'ailleurs par leur accessibilité. Une amélioration possible consisterait à tenir compte de l'effet thermique global sous forme d'un indice d'épaisseur ou de gradient horizontal, de stabilité de la masse d'air... Cependant ajouter des paramètres signifie alourdir le traitement statistique et le but de cette étude n'est pas d'établir des relations fonctionnelles entre une composante de l'atmosphère et un élément du climat au sol, mais de proposer une description globale du climat. Il faut choisir entre un gain de précision ou de « compréhension ». Remarquons en outre que ce modèle, si sommaire soit-il, tient indirectement compte de l'effet thermique, corrélé avec la pression en altitude et de la stabilité de l'air, qui est reliée au rotationnel relatif.

Classer les principaux états sous lesquels cette colonne d'air se présente au-desus du Québec signifie mettre ensemble ceux qui sont les plus proches; il faut donc définir des « distances » entre ces états à partir des indices qui les caractérisent. Comme ces indices sont corrélés les uns avec les autres, on les remplace habituellement par des paramètres indépendants les uns des autres. Cette indépendance statistique est obtenue en dégageant les « composantes principales » des indices de départ.

Pour la série des 365 journées, de juin 1969 à mai 1970, cette opération a été décrite dans un article antérieur (HUFTY, 1982). Chaque journée a donc été caractérisée par sa position (notes en facteurs) sur cinq axes orthogonaux. On peut alors définir les distances soit par les « distances euclidiennes » entre toutes les journées prises deux à deux dans l'espace des cinq axes, soit par les « distances angulaires » entre les vecteurs qui rejoignent chaque journée à partir du point origine commun à l'ensemble des cas (THÉRIAULT, 1983).

Les cinq axes doivent évidemment se distinguer. Un procédé récent (OVERLAND et PREISENDORFER, 1982) permet de comparer leurs valeurs propres à celles d'une population produite au hasard ; nous l'avons appliqué à nos données. Sur une base annuelle, les trois premières composantes sont très significatives, mais les dernières échouent de peu le test. Cependant, l'analyse de leurs notes journalières montre qu'elles restent significatives au niveau d'une saison même si, le reste de l'année, elles ne sont pas discernables l'une de l'autre.

Nous avions d'abord essayé de séparer des groupes différents en repérant les fortes coupures dans la série annuelle, c'est-à-dire en délimitant les périodes de fortes fluctuations. Cet essai avait pour but de tenir compte à priori du déroulement chronologique des temps (PÉGUY, 1981), mais il s'est avéré infructueux. Si les fluctuations varient avec les saisons, on trouve cependant, à l'intérieur de chaque saison, tous les intermédiaires, depuis des fortes « ruptures » entre des journées consécutives jusqu'à des « changements progressifs » où les limites sont inexistantes, en passant par des « dérives », c'est-à-dire une fluctuation brutale suivie d'un retour à la situation antérieure. Il vaut mieux considérer que les successions journalières sont quasi aléatoires et utiliser des méthodes statistiques déjà mises au point.

Dans un travail récent (OERLEMANS, 1979), on trouve une méthode d'étude des « ruptures » qui permettrait de discriminer des périodes de temps stable. Cependant, elle ne s'applique qu'à un seul élément du climat ; comme ces « ruptures » n'arrivent pas au même moment pour les différents éléments du climat, la méthode est peu applicable à une étude globale des journées.

Enfin, le type d'analyse statistique utilisé ne tient pas compte que les observations sont arrangées dans une série chronologiqe ; l'indépendance des distances entre les journées successives est loin d'être assurée au départ ; le classement obtenu en sera nécessairement affecté. Dans un premier temps, on verra donc dans quelle mesure les effets de « persistances » influencent le classement final.

Le deuxième chapitre analyse les caractéristiques des catégories de situations qui ont été retenues. Nous essaierons de montrer à quelles situations synoptiques elles correspondent et comment elles modèlent le visage des saisons. Tout en restant conscient de deux lacunes : d'une part une seule année a été étudiée et des catégories intéressantes mais trop peu nombreuses ont probablement été éliminées et, d'autre part, le réseau d'observations de départ couvrait une région trop restreinte et ne permettait pas de différencier des phénomènes synoptiques plus étendus. La comparaison entre les catégories retenues et les cartes synoptiques a cependant permis de pallier partiellement le deuxième problème.

LE PROBLÈME DE L'INDÉPENDANCE ENTRE LES JOURNÉES SUCCESSIVES

Une journée est localisée par une « distance à l'origine » c'est-à-dire par l'extrémité d'un vecteur qui part de l'origine commune à tous les points ; entre deux journées, la distance « angulaire » est l'angle entre les deux vecteurs pris à l'origine et la distance « euclidienne » enfin est celle qui sépare les extrémités des vecteurs.

La distance euclidienne dépend donc à la fois des distances à l'origine et des distances angulaires de deux journées. Nous allons examiner successivement ces trois « distances » pour la série des 365 journées. Dans les lignes qui suivent, les valeurs numériques absolues sont peu importantes en soi puisqu'elles dépendent de chaque population de données ; mais leurs différences relatives vont permettre de choisir un type de distance, problème que nous considérons comme important.

a) LES DISTANCES À L'ORIGINE

En calculant la localisation moyenne mensuelle des journées par rapport à l'origine commune de tous les points, on voit (tabl. I) que ces distances varient au cours de l'année avec un minimum estival et un maximum hivernal.

La distance moyenne est égale à 2,16 avec un écart type de 0,74. La corrélation entre les distances décalées d'une journée est de 0,53. À cause de la variation saisonnière commune à toutes les journées, la plus grande partie de cette corrélation est due à une autocorrélation.

b) LES DISTANCES ANGULAIRES ENTRE JOURNÉES

Pour des journées *consécutives*, l'angle médian annuel est de 45° (tierciles de 35 et 55°). Les angles ne semblent pas montrer de différences systématiques entre les saisons (tabl. II), mais une seule année est insuffisante pour en décider définitivement.

Cette absence de tendance est confirmée par le calcul du coefficient de corrélation entre les distances angulaires des paires consécutives de journées. La valeur de 0,18 est très faible et peu significative. Cette observation est importante dans la mesure où une classification des types de temps axée sur les distances angulaires ne sera probablement pas trop biaisée par des effets de persistance entre les paires de journées. Cependant, si on calcule les distances angulaires pour des paires de journées *non consécutives*, on obtient, entre le jour 1 et le jour 3, une distance médiane de 66°.

Nous avons également utilisé d'autres tests pour mieux cerner cette persistance entre paire de journées successives. L'analyse des phases de hausses et de baisses suc-

TABLEAU I

Distances mensuelles

Mois	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
Distance moyenne à l'origine	2,3	3,0	2,3	2,1	2,0	1,6	1,7	1,9	1,8	2,3	2,5	2,5
Distance angulaire entre journées consécutives :												
Tiercile inférieur	40	33	31	37	38	48	31	24	36	40	40	36
Tiercile supérieur	56	57	59	68	60	55	40	36	55	60	60	62
Distances euclidiennes entre journées consécutives:												
Tiercile inférieur	1,5	2,0	1,5	1,4	1,6	1,1	0,9	0,9	1,2	1,7	1,8	1,7
Tiercile supérieur	2,1	2,7	2,4	2,1	2,0	1,6	1,2	1,3	1,7	2,4	2,5	2,2

TABLEAU II

Fréquences mensuelles des types de circulation

Types :	janv.	fév.	mars	avr.	mai	jn	jt	août	sept.	oct.	nov.	déc.	Tot.
2	5	3	1	1						1	5	2	18
7	1	10	2	2	1					2	5	1	24
4	9	1	3	6	1	1				1		5	27
10	2	6	2	4	3	1				4	2	2	26
12			2	3	4				4	3	5	1	22
1			1	3	9	6	1		6	3			29
3B				1	5	3		4	1	5	2		21
11						5	3	1	3		1		13
3A					1	2	4	11	1				19
9	1		5	5	2	1	3	7	3	2		4	33
5	4	5	1	1		5	8	5	5	9			43
6	1		1	2			8		5		6	5	28
8	4	1	9	1	2	4		3	1			7	32
I	4	2	4	1	3	2	4		1	1	4	4	30

cessives (ARLERY, 1973 ; KIVELIOVITCH, 1954) montre la possibilité d'une faible organisation de la série sous la forme de hausses ou de baisses des distances qui se poursuivent plusieurs journées de suite avec des fréquences supérieures au hasard, indépendamment de la saison. La série étudiée est trop courte pour délimiter ce phénomène et ne permettrait pas d'utiliser des méthodes plus perfectionnées (analyse harmonique, analyse spectrale,...). Le schéma de Polya, qui caractérise la persistance par un « coefficient de contagion », s'ajuste bien à la série des distances euclidienne (coefficient de 0.96) et la méthode du tirage aléatoire donne des rapports de persistance proche de l'unité pour la série désaisonnalisée, et confirme que cette persistance reste très faible et ne se manifeste que sur de courtes distances. Un calcul plus complexe du type chaînes de Markov n'apporterait rien de plus.

Cette question de persistance est d'ailleurs loin d'être résolue et mériterait des développements ; au départ, le mélange de variables à deux niveaux différents ne favorise pas la régularité chronologique puisqu'elles fluctuent à des échelles chronologiques différentes (MARYON et STOREY, 1985 ; OERLEMANS, 1979). De plus, le pas de temps journalier n'est pas nécessairement le plus propice pour définir des types de circulation et peut-être faudrait-il y associer au départ la notion de durée, c'est-à-dire définir de types à durée variable? Les composantes peuvent être calculées en tenant compte des variables étalées sur plusieurs journées (WEARE et NASSTROM, 1982), mais là également les durées considérées sont fixes.

Il existe donc un effet qu'on peut appeler « effet de proximité ». Cet effet peut être modélisé simplement. Si un point dans l'espace représente la première journée, une « sphère » autour de ce point matérialise les positions possibles de la deuxième journée dans l'espace des composantes principales ; une « sphère » autour de ces positions localise les coordonnées de la troisième journée. On peut calculer les fréquences théoriques, soit des différences de distances entre 1-2 et 1-3, soit des différences d'angle à partir d'une origine extérieure commune, en supposant une répartition aléatoire des points sur les sphères. Ces approximations s'ajustent bien aux valeurs médianes observées. La distance angulaire entre deux jours consécutifs est donc de 20° plus faible que la même distance entre deux journées décalées de 24 heures. L'augmentation ultérieure, entre deux journées décalées de 48 heures, devient très faible, de quelques degrés, à peine.

Si on décide de mettre dans une même catégorie des paires de journées séparées par une distance inférieure à un seuil donné, on obtiendra un « biais » systématique en faveur des journées consécutives. Un tel classement sera non seulement basé sur des parentes morphologiques entre journées, mais également sur des effets de proximités chronologiques.

c) LES DISTANCES EUCLIDIENNES ENTRE JOURNÉES

Leurs valeurs découlent des distances précédentes et il n'est pas étonnant d'en retrouver les caractéristiques. Les distances euclidiennes entre journées consécutives passent par un minimum estival, qui se situe à la fin de juillet, et un maximum hivernal, probablement dédoublée en deux maxima : novembre et février. Comme elles représentent assez bien la variation absolue des phénomènes, on peut en conclure que les temps successifs varient peu en été et qu'ils montrent une grande irrégularité en hiver, ce qui correspond d'ailleurs à l'observation courante. En poursuivant cette étude sur plusieurs années, on pourrait probablement mieux caractériser les périodes saisonnières par un indice de régularité du temps.

d) CONCLUSION : CHOIX D'UN SYSTÈME DE CLASSEMENT

Pour classer les types de circulations atmosphériques, il fallait adopter une méthode de calcul de « distances » entre eux et une façon de mettre ensemble les types proches les une des autres. Cette seconde opération s'effectue à partir de la matrice des « distances » entre toutes les journées, matrice de grandes dimensions (365 × 365), qui peut se ramener à une matrice de corrélation, de manière immédiate pour les distances angulaires ou avec une astuce de calcul pour les distances euclidiennes : $i = (dm-d)/dm$ où dm est la distance maximale relevée dans la matrice et i un indice qui varie de 0 à 1. On extrait les composantes principales de cette matrice ; les journées fortement reliées positivement ou négativement avec ces axes forment les groupes de base de la classification (THÉRIAULT, 1983).

La matrice fabriquée à partir des distances euclidiennes a plusieurs inconvénients, notamment l'utilisation d'une distance maximale trop étroitement liée à une journée particulière et l'existence de fortes corrélations internes entre les distances. Le classement ainsi obtenu aurait un biais saisonnier trop fort.

Les éléments de la matrice des distances angulaires sont plus indépendants les uns des autres. Les relations restent cependant plus fortes pour les paires de journées qui se suivent, mais il semble inutile de corriger à priori cet effet de « proximité », qui indique simplement que les journées consécutives sont physiquement plus semblables.

En pratique, dans une matrice de distances d(i,j), la proximité diminue de d 1-2 vers d 2-3 vers d 3-4, d 4-5... ; cela signifie que les relations le long de la diagonale d 1-2 avec d 2-3, d 2-3 avec d 3-4, etc. sont plus élevées que les autres relations. L'analyse multivariée, qui en est extraite, tient alors automatiquement compte des proximités chronologiques des journées.

Nous avons donc adopté un système de classement relatif des situations atmosphériques, en choisissant la matrice des distances angulaires, mais avec une correction « absolue » : les observations trop proches de l'origine commune (distance à l'origine ≤ 1) ont été mises dans une classe à part, qui regroupe des situations atmosphériques peu différenciées, proches de la moyenne annuelle. Cinq axes ont été extraits de la matrice de départ, donnant dix types de situations très bien corrélées sur les axes et opposées deux à deux. Après l'analyse discriminante, deux opérations ont été effectuées : un des types de temps, aux

TABLEAU III

« Distances » moyennes des types de circulation

Types	1	2	3A	3B	4	5	6	7	8	9	10	11	12	I
Distance à l'origine	1,6	3,3	2,0	2,0	2,3	2,0	2,0	2,3	3,0	2,1	2,7	0,9	2,1	2,4
Distance euclidienne entre journées de temps semblables	1,1	2,4	1,1	1,7	1,4	1,4	1,2	1,3	1,6	1,2	2,0	0,9	1,0	1,8
Distance angulaire entre deux journées de temps semblables	36	42	25	37	38	38	27	38	27	31	44	53	26	21
Durée moyenne des temps (jour)	1,8	1,2	1,8	1,7	1,5	1,6	2,0	1,9	1,7	1,6	1,1	1,6	2,5	1,1
Probabilité d'avoir le même temps le lendemain	0,44	0,20	0,44	0,41	0,33	0,39	0,50	0,47	0,41	0,39	0,10	0,39	0,60	0,10

effectifs très nombreux, a été subdivisé en trois, portant le total à 13 ; de plus, les nombreux cas restant (un peu moins de la moitié), qui étaient reliés à plusieurs axes, ont été rattachés aux groupes initiaux. Il subsiste une catégorie dite « indéterminée », qui regroupe notamment des situations qui chevauchent sur deux journées ou des cas trop peu nombreux pour être classés.

TABLEAU IV

Séquences de jours consécutifs semblables

Total des jours	Jours isolés ou 1 jour	2j.	3j.	4j.	5j.	6j.	7j.	Total des séquences
365	134	49	22	11	2	1	1	220

LES TYPES DE CIRCULATION

a) LES FRÉQUENCES MENSUELLES (fig. 1)

Certains types se retrouvent toute l'année (voir 9, 5, 6, 8 ou indéterminés), mais d'autres sont exclusifs à la saison chaude (1, 11, 12, 3A et 3B) ou à la saison froide (2, 4, 7, 10) ; chaque mois est caractérisé par la présence de 3 à 4 catégories dominantes, réparties très irrégulièrement au cours des saisons.

b) DISTANCES ET SÉQUENCES

On voit, sur la tableau III que les journées groupées dans les classes 6 et 12 sont les plus permanentes et les plus proches, à l'opposé des classes 2 et 10, plus temporaires et moins homogènes. De plus les classes 13, 7, 9 et 1 se rapprochent du premier ensemble et les classes 4, 5, 8 et 14 du second. La classe 11 est un cas à part où sont placées toutes les distances proches de l'origine.

Les observations totales des séquences de n journées de même temps sont représentées dans le tableau IV. Le rapport 365/220 est de 1,66 jours en moyenne, c'est-à-dire qu'il y a environ 40% de chances qu'une journée ressemble à la journée précédente et soit classée dans la même catégorie: si la probabilité de la réalisation d'un événement journalier est de 0,40, la longueur moyenne théorique des séquences est égale à 1/(1-0,4) ou 1,66 jours. Ces probabilités varient avec la classe de situation synoptique, ce qui présente un certain intérêt prévisionnel.

Il peut être intéressant de regarder les fréquences des séquences de types de circulation différents. Nous avons décidé de ne conserver que les séquences dont les fréquences observées valaient au moins deux fois les fréquences théoriques calculées à partir des probabilités conditionnelles.

Les cas retenus sont peu nombreux et c'est probablement l'imprévisibilité des successions qui est la règle. Le tableau V résume le cas les plus intéressants ; on y voit se dessiner quelques séquences intéressantes. Par exemple, le type 10 est suivi beaucoup plus souvent par un type 2 que par lui-même.

c) DESCRIPTION DES TYPES DE CIRCULATION (fig. 1 et tabl. VI)

1) Les anticyclones (7, 9 et 12)

Les anticyclones sont caractérisés par une première composante positive (hautes pressions et rotationnels anticycloniques) et une troisième composante négative (circulation d'ouest souvent lente).

Le type 12 est le plus accentué et le plus permanent ; les pressions sont fortes à tous les niveaux et les hautes pressions au sol sont centrées sur le Québec. On le rencontre pendant les saisons intermédiaires, qui permettent la superposition de crêtes chaudes en altitude et des hautes pressions thermiques froides de surface.

Le type 9 provient d'un effet anticyclonique à l'avant d'une crête d'altitude ; sa force et son extension sont plus limitées que dans le cas prédédent ; il est généralement

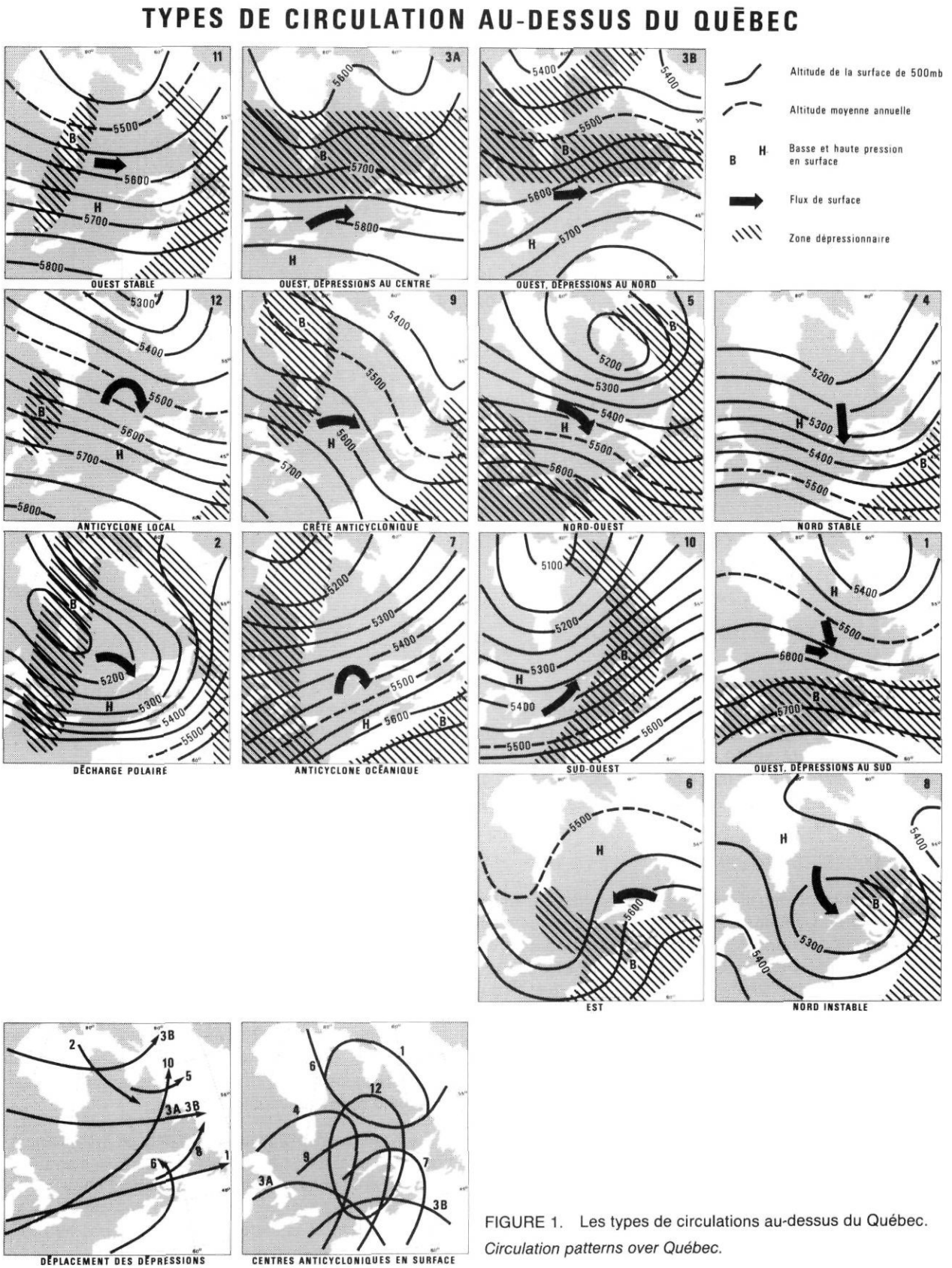

FIGURE 1. Les types de circulations au-dessus du Québec.
Circulation patterns over Québec.

TABLEAU V

Séquences des successions

Séquences		Cas observés	Cas théoriques	Probabilité d'apparition après le type du Jour 1
Types du jour 1	Type du jour 2			
10	2	7	1,5	0,26
7	10	6	1,0	0,25
9	3A	7	2,0	0,21
12	1	4	1,4	0,19
6	8	5	1,8	0,18
5	10	5	1,9	0,12
5	4	5	2,0	0,12

encadré par des systèmes dépressionnaires, à l'ouest de la baie James et à l'est des Maritimes. On le rencontre toute l'année. En été, il est souvent suivi par le type 3A, qui indique un déplacement vers l'est de la perturbation de la baie James (voir plus loin).

Le type 7 est hivernal et plus superficiel. Quand un vaste creux d'air froid envahit tout l'est du continent, des décharges froides venues de l'Ouest canadien, passent au sud des Grands Lacs et remontent vers les Maritimes où elles viennent se souder et renforcer l'anticyclone atlantique. De l'air stable envahit alors le sud et le sud-est du Québec, mais il s'agit surtout d'un courant de surface.

2) Les courants stables de nord-ouest (5, 2, 4)

Une deuxième composante négative et une troisième composante positive y indiquent des circulations rapides,

TABLEAU VI

Caractéristiques principales des types de circulation

Types	Composantes principales 1	2	3	4	5	Pression et rotationnel PA	PS	RA	RS	Vent F		Équivalents synoptiques
11	•	•	•	•	•	(+)	•	•	•	(W)		Courant d'ouest
3A	(+)	(+)	•	•	+	+	•	(+)	•	(W)		Dépression d'ouest au centre et crêtes au sud
3B	(+)	+	•	•	+	+	•	(+)	•	(SW)		Dépression d'ouest à sud-ouest au centre et au nord
12	+	•	–	•	(–)	+	+	+	+	(NW)	X	Crête anticyclonique stable
9	(+)	(–)	–	•	(–)	•	+	•	+	(NW)		Crête anticyclonique passagère
5	(+)	(–)	+	(–)	•	•	•	(+)	(+)	NW		Air stable de nord-ouest à l'arrière d'une dépression
4	(–)	–	•	•	–	–	•	(–)	+	(NW)	X	Courant stable de nord à nord-est
2	–	–	+	+	(+)	–	+	–	+	(W)	X	Dépression de nord-ouest suivie d'une forte décharge polaire
7	(+)	•	•	+	–	•	+	•	+	SW		Décharges d'air froid sur le sud-est et anticyclone océanique superficiel
10	(–)	+	+	•	–	(–)	–	•	–	SW	X	Passage d'une vaste dépression rapide de sud-ouest
1	(+)	(+)	(–)	(–)	(–)	+	•	+	(–)	NW	X	Anticyclone au nord et dépressions d'ouest au sud
6	(–)	(+)	–	(+)	•	•	•	–	(–)	SE	X	Convergence d'air maritime d'est vers une dépression sur le sud-est
8	–	(–)	•	–	(+)	–	–	–	–	N	X	Courant instable de nord-ouest à nord-est vers une dépression sur l'estuaire du Saint-Laurent

PA et PS: pression en altitude et au sol
RA et RS: rotationnel en altitude et au sol
F: direction du flux dominant (x indique un grand angle entre les flux au sol et en altitude)
( ), ( )... caractère atténué
+: forte pression, composante positive, rotationnel anticyclonique
–: faible pression, composante négative, rotationnel cyclonique
• : conditions moyennes

avec un minimum d'altitude centré sur le Labrador et une crête sur l'Ontario. Le minimum est décalé vers l'Atlantique dans le type 5 (composante 4 négative) et vers le mer d'Hudson et les Grands Lacs dans le type 2 (composante 4 positive). Dans ce dernier cas, l'effet thermique de surface des Grands Lacs canalise probablement le creux (fréquence maximale pendant la première moitié de l'hiver). Les vallées froides ou les gouttes d'altitude peuvent alors descendre loin, vers le sud des États-Unis, et les décharges d'air froid provoquent des hautes pressions superficielles sur tout le sud du Québec. La succession 2-7 est assez fréquente et indique que la décharge froide arrive sur les Maritimes et s'y soude à un anticyclone.

Le type 5 est moins accentué ; les gradients d'altitude encerclent un creux atlantique au nord-est du Labrador en hiver, au nord de Terre-Neuve en été. Des vastes fronts froids s'étendent de la côte est américaine à la côte du Labrador et l'air froid postérieur se stabilise progressivement à mesure qu'il descend vers le sud et qu'on s'éloigne du centre dépressionnaire du nord-est.

Dans le type 4, le creux s'est déplacé vers le sud-est et c'est davantage la courbure anticyclonique du flux d'altitude qui influence l'ouest du Québec, donnant un flux de nord en surface. Il suit fréquemment le temps précédent.

3) Les dépressions cycloniques (8, 6 et 10)

Elles ont une première composante faible, c'est-à-dire des basses pressions et des rotationnels cycloniques sur l'ensemble du Québec. De 10 à 6 à 8, la circulation se ralentit ; en altitude on passe d'une vallée sur la mer d'Hudson, en circulation rapide (type 10), à un creux prononcé sur le sud-ouest et prolongé sur les États-Unis (type 6), à une goutte froide très profonde sur l'estuaire du Saint-Laurent, accompagné d'une crête au nord-est (type 8). Les deux derniers sont stables et se suivent souvent (6 suivi de 8), indiquant une progression lente dans le sens antihoraire de la vallée et sa transformation en goutte d'altitude. Par contre, le type 10 est très passager et évolue le plus souvent vers le type 2 ; dans ce dernier cas, il s'agit d'une poussée rapide de l'air froid au sol à l'arrière d'une dépression de sud-ouest qui est repoussée vers la côte du Labrador.

Le type 6 se rencontre principalement entre juillet et décembre. Le creux d'altitude stagne sur le nord-est des États-Unis et s'accompagne généralement d'un blocage de hautes pressions sur la côte atlantique du Labrador. Cette situation canalise un puissant flux d'air maritime sur tout le centre et le sud-est du Québec et attire des dépressions d'ouest dans le sud du pays pendant que le nord est davantage influencé par l'effet anticyclonique. La fréquence hivernale de ces situations semble à l'origine des plus importantes fluctuations climatiques hivernales dans le nord-est du continent (HUFTY, 1984).

Dans le type 8, la zone dépressionnaire, très creusée, est centrée sur le bas estuaire du Saint-Laurent et les dépressions se déplacent vers Terre-Neuve. La plus grande partie du Québec est alors sous l'influence de courants instables, de nord-est à nord-ouest selon la position relative des régions.

Le type 10 est hivernal. La vallée d'altitude, entre la mer d'Hudson et les Grands Lacs, canalise des puissantes dépressions, qui balayent rapidement tout le Québec, du sud-ouest à la côte du Labrador, avec un minimum secondaire sur la côte nord ou sur le sud du golfe du Saint-Laurent.

4) Les situations mixtes (1, 3A, 3B) ou moyennes (11)

Les situations mixtes se rencontrent en saison chaude, d'avril à octobre et ont de fortes composantes (positives) 1 et 2 ; les hautes pressions en altitude remontent loin vers le nord et les centres de courbure sont dans la mer d'Hudson (3A et 3B) ou la baie de Davis (1).

Les situations mixtes se caractérisent à la fois par le passage de dépression d'ouest et la présence de hautes pressions sur le Québec mais dans des régions opposées : dépressions dans le sud et anticyclone ou nord (type 1), dépressions dans le centre et le nord avec hautes pressions au sud (types 3A et 3B).

Pour comprendre le type 1, il faut examiner des cartes à une vaste échelle. En altitude, elles montrent la présence d'un double creux : détroit de Davis et Grands Lacs, séparés par une crête sur la mer d'Hudson. Cette dernière maintient des anticyclones sur le nord du Québec. Des dépressions reliées au creux des Grands Lacs circulent d'ouest en est, au sud du Québec et sur les Appalaches, et se soudent fréquemment à la dépression atlantique. Leur fréquence maximale se rencontre en mai-juin, par suite de la remontée des trajectoires qui passaient au sud des Grands Lacs en mars-avril.

Le type 3B montre une dépression d'altitude sur la mer d'Hudson, avec des maxima au sol dans le nord-ouest québécois. On observe le passage de vastes systèmes dépressionnaires qui balayent le Québec central et nordique en se déplaçant de l'ouest au nord-est, de même que l'apparition fréquente de systèmes secondaires, reliés aux précédents, mais de trajectoire plus centrale et plus zonale. Le sud-ouest du Québec est le plus souvent influencé par les hautes pressions du nord-est des États-Unis et de la côte américaine.

Dans le type 3A, la dépression hudsonnienne d'altitude est un peu plus méridionale et les gradients sont plus faibles. C'est un régime d'ouest, dont les systèmes dépressionnaires très évasés se déplacent sur le centre du Labrador. Le sud du Québec reste sous l'influence des secteurs chauds et des hautes pressions méridionales, davantage centrées sur les Grands Lacs.

Le type 11 enfin est un type estival moyen qui regroupe différentes situations d'ouest, correspondant le plus souvent à des faibles crêtes anticycloniques sur le sud-ouest du Québec, encadrées par des dépressions de surface sur la côte du Labrador et, parfois, entre la baie James et les Grands Lacs.

d) ESSAI DE DESCRIPTION DE LA SUCCESSION HABITUELLE DES TEMPS PENDANT UNE ANNÉE [JOHNSON, 1948 ; KLEIN, 1958 ; KNOX, 1985 ; WHITTAKER, 1984]

L'hiver débute en novembre et décembre par une circulation d'ouest lente. Les crêtes anticycloniques suivent deux voies principales : de la mer d'Hudson au Saint-Laurent (types 9 et 12) ou du sud des Grands Lacs à la côte américaine, où elles renforcent l'anticyclone atlantique (type 7). À mesure que l'hiver avance, les centres dépressionnaires qui, en novembre, se partageaient entre la mer d'Hudson et l'est américain, se concentrent de plus en plus à la périphérie d'un vaste arc de cercle qui passe au sud-ouest de la mer d'Hudson, sur le Saint-Laurent et remonte vers l'Atlantique Nord. Les circulations lentes avec de fréquents blocages sur l'Atlantique Nord et le détroit de Davis amènent de l'air maritime d'est ou de nord-est sur le Québec (types 6 et 8). Elles alternent avec des vagues rapides qui apportent au sol de l'air de nord et de nord-ouest (types 2 et 4), parfois de sud-ouest (type 10, trajectoire le long de la côte orientale de la mer d'Hudson).

Ces types de circulations rapides vont devenir quasi exclusifs au cours des deux mois suivants. Le creux d'altitude sur l'est du continent est vaste et descend au sud des Grands Lacs. Les centres dépressionnaires à déplacements rapides, se situent entre le Saint-Laurent et le sud des États-Unis et les types 2, 4 et 5 dominent au Québec.

Les anticyclones mobiles suivent également une voie très méridionale et très incurvée ; les décharges froides passent au sud des Grands Lacs et viennent fréquemment renforcer au sol l'anticyclone des Maritimes (type 7).

Les dépressions de sud-ouest (type 10) remplacent les dépressions d'ouest (type 8). Ces dernières vont réapparaître en mars-avril. Pendant ces mois, l'axe de courbure de l'arc de cercle suivi par les dépressions tend d'abord à se déplacer vers l'ouest et à se creuser loin vers le sud, vers la prairie américaine, mais on voit également réapparaître des trajectoires plus rectilignes d'ouest ou de sud-ouest entre la baie James ou les Grands Lacs et la côte atlantique. Une grande diversité des situations amène les derniers temps de sud-ouest (type 10), et beaucoup d'air de nord-ouest (type 8). Les hautes pressions migrent progressivement des lacs Manitoba et Winnipeg jusqu'au sud de la mer d'Hudson où elles persistent en avril (types 9 et 12).

La saison chaude arrive avec les mois de mai et juin. Les crêtes anticycloniques restent fréquentes dans l'Hudsonie, mais se déplacent davantage vers l'est. Les dépressions continentales dont l'origine avait été décalée loin vers le sud, sur le centre des États-Unis, au cours des mois précédents, arrivaient souvent du sud-ouest, remontant vers le nord ; elles viennent désormais de l'ouest en suivant deux voies principales : les Grands Lacs et le Saint-Laurent (types 8 et surtout 1) ou la mer d'Hudson et le Labrador (types 3B et 11). En juillet, les incursions d'air maritime sont fréquentes (type 6), de même que les arrivées d'air stable de nord-ouest (type 5). Mais ce qui va de plus en plus dominer le temps, surtout au mois d'août, c'est la remontée générale des systèmes vers le nord. Une circulation assez lente d'ouest domine et la plupart des perturbations suivent la voie nord, avec des pressions plus fortes au sud (types 3A et 9 surtout) et des anticyclones sur le nord-est des États-Unis qui canalisent de l'air chaud et humide sur le sud du Québec.

Les pressions d'altitude restent élevées en septembre et en octobre, mais se déplacent vers l'est. Les perturbations suivent davantage des trajectoires sud-ouest-nord-est (type 3B et 10) ou redescendent vers le sud (type 1). On retrouve un peu les deux voies privilégiées de mai et juin.

Les temps stables sont nombreux. Beaucoup de crêtes de nord-ouest (type 5), avec des anticyclones mobiles qui influencent surtout la côte est du continent, mais également, jusqu'au début de novembre, de fréquents anticyclones dynamiques chauds et très étendus (type 12) qui donnent l'impression de prolonger l'été. Mais à cette époque ces anticyclones se déplacent vers l'est et persistent sur les Maritimes et l'Atlantique. Le creux qui suit s'étend loin vers le sud, vers la côte est des États-Unis, et donne naissance aux premières dépressions (type 6) très stables qui vont ramener l'air maritime d'est. L'été est terminé, d'autant plus que la plupart des anticyclones seront désormais gouvernés par les décharges thermiques froides au sol.

CONCLUSIONS

La complexité et la singularité des temps journaliers sont si grandes qu'il reste utile de développer des modèles statistiques multivariés construits à l'aide des mesures météorologiques de routine et basés sur des modèles physiques cohérents. Ils permettent de mieux décrire les états des systèmes, les climats qui en découlent et leurs fluctuations.

Nous avons utilisé un modèle de la circulation atmosphérique qui repose sur les champs de pression au sol et à 500 mb et avons appelé « type de circulation » les fluctuations principales autour des champs isobariques moyens.

Nous avons choisi un classement non hiérarchique, qui délimite un certain nombre d'individus proches qui seront autant de noyaux de base de classes futures et qui respecte un certain flou des limites. Ces groupes ont été sélectionnés à partir de l'analyse multivariée d'un tableau des distances angulaires entre toutes les journées. Ce tableau peut être affecté de biais systématiques : d'abord, les effets périodiques d'autocorrélation vont augmenter les liens entre les journées d'une même saison (en particulier dans le cas des distances euclidiennes) ; ensuite, les effets de persistance de la valeur absolue de la distance entre deux journées vont se faire sentir sur les journées suivantes (série aléatoire récurrente) ; enfin des effets de proximité font augmenter la valeur relative des distances avec l'éloignement chronologique.

Même si le classement final est influencé par l'ordre temporel dans lequel les situations se succèdent, l'effet reste faible dans le cas des distances angulaires et la série des journées peut être considérée comme un phénomène quasi aléatoire. Des corrections éventuelles pourraient être envi-

sagées, mais il faudrait des séries plus longues pour en préciser la valeur et travailler à l'échelle horaire (JOLY, 1984).

Les fréquences de séquences de types de circulation semblables peuvent être simulés par des tirages aléatoires ; on voit alors apparaître au hasard des suites de 4 à 5 jours qui correspondent à des périodes de blocage ou des périodes continues de flux rapide.

Les séquences de situations différentes, qui ont des fréquences supérieures à leurs apparitions théoriques, semblent également très peu nombreuses. C'est l'irrégularité et l'aléatoire qui dominent là également.

Enfin, les types de circulation, définis de manière statistique, ont une parenté évidente avec les situations synoptiques représentées sur les cartes journalières du temps. Leur échelle spatiale dépasse cependant celle des phénomènes météorologiques isolés ; elle est davantage celle des *Grosswetterlagen* qui recouvrent, dans un espace donné, un certain nombre de situations synoptiques.

RÉFÉRENCES

ARLERY, R., GRISOLLET, H. et GUILMET, B. (1973) : *Climatologie, méthodes et pratiques*, Gauthier Villars, Paris.

BARRY, R. et PERRY, A.H. (1973) : *Synoptic Climatology*, Methuen.

BARRY, R. (1980) : Synoptic climatology, *Progress in Physical geography* 4, 88-96.

BRADLEY, R.S. et ENGLAND, J. (1979) : Synoptic climatology of the Canadian High Arctic, *Geografiska Annaler*, 61A, 187-201.

BRYSON, R.A. et HARE, F.K. (1974) : The Climate of North America, *World Survey of Climatology*, II : 1-47.

CRADDOCK, J.M. et FLOOD, C.R. (1965) : Eigenvectors for Representing the 500 mb Geopotential Surface over the Northern Hemisphere, *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 95 : 576-593.

HESS, P. et BREZOWSKY, H. (1969) : *Katalog der Grosswetterlagen Europas,* Bericht Deutsche Wetterdienst 15 (113), 56 p.

HUFTY, A. (1981) : Les types de temps à Alger, analyse multivariée, *La Météorologie*, 9 (26) : 93-106.

——— (1982) : Analyse en composantes principales des situations synoptiques au Québec, *Géographie physique et Quaternaire*, 36 : 307-317.

——— (1984) : Fluctuations récentes de l'insolation au Québec, *Géographie physique et Quaternaire,* 38 : 272-282.

JOHNSON, C.B. (1948) : Anticyclogenesis in Eastern Canada during Spring, *Bulletin of American Meteorological Society*, 29 : 47-55.

JOLY, D. et LUONG, N.X. (1984) : Analyse des successions de types de temps fondée sur un nouvel algorithme de classification non hiérarchique, *Publ. du laboratoire de géographie physique*, Besançon.

KIRCHOFER, W. (1973) : Classification of European 500 mb patterns, *Arbeitsbericht der Schweizerischen Meteorologischen Zentralanstalt,* n° 43.

KIVÉLIOVITCH, M. et VIALAR, J. (1954) : Comment décerner la présence du hasard dans l'observation des phénomènes naturels, *La Météorologie*, p. 151-170.

KLEIN, W. et WINSTON, J. (1958) : Geographical Frequency of Troughs and Ridges on Mean 700-mb Charts, *Monthly Weather Review,* 344-358.

KNOX, J.L. (1979) : Blocking Frequency in the North Hemisphere, *Annual Congress of Canadian Meteorological Society,* preprint.

——— (1985) : Blocking signatures in the northern hemisphere : frequency, distribution and interpretation, *Journal of Climatology*, 5, 1-16.

LITYNSKI, J. (1970) : Classification numérique des types de circulation et des types de temps en Pologne, *Cahiers de géographie de Québec*, 14, 329-338.

MARYON, R.H. et STOREY, A.M. (1985) : Forecasting anomalies of mean surface pressure, *Journal of Climatology,* 5, 561-578.

NORTH, G.R., BELL, T.L., CAHALAN, R.F. et MOENG, F.J. (1982) : Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal functions, *Monthly Weather Review*, 110, 699-706.

OERLEMANS, J. (1979) : An objective approach to breaks in the weather, *Monthly Weather Review,* 106, 1672-1679.

OVERLAND, J.E. et PREISENDORFER, R.W. (1982) : A significance test for principal components applied to a cyclone climatology, *Monthly Weather Review,* 110, 1-4.

PAUL, P. (1973) : *Climatologie dynamique de la région de Montréal,* thèse de 3e cycle inédite, Université de Strasbourg.

PEAGLE, J.N. et KERULFF, L.P. (1974) : Synoptic climatology of 500 mb-winter flow types, *Journal of Applied Meteorology*, 13, 205-212.

PÉGUY, Ch. (1981) : Weather and Time, *Brouillons Dupont,* 7 : 11-24.

PERRY, A.H. (1983) : Growth points in synoptic climatology, *Progress in Physical Geography* 7, 90-96.

PETZOLD, D.E. (1982) : The summer weather types of Quebec-Labrador, McGill University, *Climatological Research Series,* 14.

RICHMAN, M.R. (1981) : Obliquely rotated principal components, *Journal of Applied Meteorology*, 20, 1145-1159.

ROGERS, J.C. (1981) : Spatial variability of seasonal sea level pressure and 500 mb height anomalies, *Monthly Weather Review,* 109, 2093.

THÉRIAULT, M. (1983) : Une méthode géométrique de groupement pour l'identification des régions géographiques homogènes, *Notes et Documents de recherche*, n° 7, Université Laval, Département de géographie, 125 p.

WEARE, B.C. et NASSTROM, J.S. (1982) : Examples of extended empirical orthogonal function analyses, *Monthly Weather Review,* 110, 481-485.

WHITTAKER, M. et HORN, L.H. (1984) : Northern Hemisphere Extratropical Cyclone Activity for four Mid-Season Months, *Journal of Climatology*, 4 : 297-310.

YARNAL, B. (1984) : The effect of weather map scale on the results of a synoptic climatology, *Journal of Climatology,* 4, 481-493.