

CANADIAN THESES ON MICROFICHE

THÈSES CANADIENNES SUR MICROFICHE



National Library of Canada
Collections Development Branch

Canadian Theses on
Microfiche Service

Ottawa, Canada
K1A 0N4

Bibliothèque nationale du Canada
Direction du développement des collections

Service des thèses canadiennes
sur microfiche

NOTICE

The quality of this microfiche is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Previously copyrighted materials (journal articles, published tests, etc.) are not filmed.

Reproduction in full or in part of this film is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30. Please read the authorization forms which accompany this thesis.

**THIS DISSERTATION
HAS BEEN MICROFILMED
EXACTLY AS RECEIVED**

AVIS

La qualité de cette microfiche dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

Les documents qui font déjà l'objet d'un droit d'auteur (articles de revue, examens publiés, etc.) ne sont pas microfilmés.

La reproduction, même partielle, de ce microfilm est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30. Veuillez prendre connaissance des formules d'autorisation qui accompagnent cette thèse.

**LA THÈSE A ÉTÉ
MICROFILMÉE TELLE QUE
NOUS L'AVONS REÇUE**

Canada

L'INFLUENCE DE LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE
SUR LE REGIME THERMIQUE DANS
LA VALLEE DU RUISSEAU GLADSTONE AU COURS DE L'ETE DE 1982

par

Susan Lemaître

THESE PRESENTEE A L'ECOLE DES ETUDES SUPERIEURES
EN VUE DE L'OBTENTION DE LA MAITRISE ÈS ARTS EN
GEOGRAPHIE.



Susan Lemaître, Ottawa, Canada, 1985.

Raconte-moi, la terre, l'odyssée de tes ans
L'infini du voyage, ton espace et ton temps...
Parle-moi des soleils qui ont brûlé tes âges,
Des pays façonnés à même tes glaciers...
Redis-moi les montagnes que tu as fait pousser
Et portes sans effort comme rose au corsage...
Enseigne-moi les eaux du fond de toi jaillies,
Le pourquoi des déserts, des ciels bleus ou gris...
Explique-moi la neige, le frimas et le givre,
Et les parfums étranges dont ton été m'enivre...
Rappelle-moi le jour où, pour la première fois,
Ta vie, dans mes veines, a coulé librement.

Susan, 1982

RESUME

Le but du travail est d'analyser l'influence de la circulation atmosphérique sur le régime thermique d'une vallée. Cette influence est analysée par le biais de types de temps, lesquels sont déterminés par des méthodes d'analyse quantitative. De fait, selon le type de temps, l'influence de la circulation atmosphérique sur le régime thermique de la vallée sera plus ou moins direct, avec un climat local plus ou moins bien individualisé. L'espace climatique est ici subdivisé en deux niveaux d'étude; un niveau régional et un niveau local.

Nous avons choisi la vallée du Ruisseau Gladstone, sud-ouest du Yukon, en raison de sa position stratégique par rapport à la chaîne des St-Elias et l'influence qu'elle subit des masses d'air continentalisées. Les données à analyser sont pour la vallée les températures horaires du 18-06 au 20-08 1982 et pour la circulation atmosphérique des variables synoptiques notées sur cartes pour la même période.

Par une analyse de groupement basée sur le centroïde nous avons obtenu quatre groupes au niveau régional, chacun représentant un type de circulation atmosphérique. Pour une

meilleure comparaison, les températures horaires du niveau local ont été transformées par une analyse harmonique, en composantes de régimes thermiques. En confrontant les types de circulation atmosphérique aux paramètres de l'analyse harmonique, dans une analyse discriminante, nous avons pu déterminer comment les trois types de temps définis s'individualisent l'un par rapport à l'autre et comment ceux-ci sont perçus dans la vallée.

Les résultats démontrent que la distinction entre types de temps se fait d'abord sur l'opposition cyclonique-anticyclonique. Ils soulignent de plus qu'entre les types cycloniques, la différence est surtout axée sur la température.

ABSTRACT

The analysis of the atmospheric circulation's influence on a valley's thermal regime is the main objective of this thesis. To this end, it is necessary to identify weather types, through quantitative analysis. This influence will vary according to the weather type. The local climate will also vary and appear relatively individualized. The climatic dimension is divided into two scales of study; a regional and a local scale.

The study area is the Gladstone Creek in the south-west Yukon. This area's strategic position in relation to the St-Elias mountains, was the main reason for its selection as an area of examination. The region is also subject to the influence of continentalized air masses. The collected data is obtained from two sources. The first source being hourly recorded temperatures in the valley. The second source being weather maps for synoptic variables at the regional scale. This was done for the period of June 18th to August 20th, 1982.

By the statistical procedure of cluster analysis, using the centroid procedure, four groups at the regional scale were obtained. Each group represents a type of atmospheric

circulation. The hourly temperatures were transformed into independent parameters using harmonic analysis. This transformation was undertaken to eliminate the weight of the mean, thereby enabling comparison between days of different seasons. A final stage of this study involves a discriminant analysis, utilizing atmospheric circulation types in combination with the derived harmonic analysis parameters. It is determined that three weather types influenced the study region. This last procedure also shows how the weather types are individualized and how they are perceived in the valley.

The results indicate that the main distinction between different weather types is a cyclonic-anticyclonic opposition. The findings also emphasize that temperature is the principal difference between cyclonic weather types.

REMERCIEMENTS

A l'étape finale de cet ouvrage, je désire exprimer ma gratitude envers tout ceux qui de près ou de loin ont contribué à l'acheminement de cette thèse. Parmi les personnes qui m'ont assisté, je tiens à remercier particulièrement le professeur Daniel Lagarec, qui a voulu me diriger. Par ses nombreux conseils et sa patience il m'a permis de mener à terme cette recherche.

Je suis également reconnaissante à mes amis(es) et collègues du département de Géographie qui ont su remonter mon moral durant les moments difficiles et par la même occasion m'enrichir de leurs conseils. Tout particulièrement merci à Véronique Dewez pour l'inspiration qu'elle m'a si souvent communiquée. Son expertise et sa compagnie sur le terrain, ainsi que celles de François Sarrazin ont fait de mes trois mois au Yukon une expérience inoubliable. Je n'oublie pas les mots d'encouragement et les conseils des professeurs M.-A. Geurts et M. Phipps.

Je remercie le Groupe de Recherches Nordiques qui a financé le voyage et la subsistance sur le terrain, ainsi que le Département de Géographie pour l'aide financière précieuse.

Je désire en dernier lieu exprimer mes sentiments de profonde gratitude envers mes parents et ma soeur, qui n'ont pas cessé de m'encourager. Cette phase de ma thèse serait incomplète si j'oubliais de mentionner Livain Michaud, pour l'oreille attentive, son silence encourageant et l'aide qu'il ma apporté. Je lui dois énormément.

Merci à tous.

TABLE DES MATIERES

RESUME	iii
ABSTRACT	v
REMERCIEMENTS	vii
INTRODUCTION	1
<u>CHAPITRE</u>	<u>page</u>
I. CADRE CONCEPTUEL	3
CRITERES DE SELECTION	3
LA REGION	4
ECHELLES	9
NOTIONS DE TYPES DE TEMPS	11
II. NIVEAU REGIONAL: LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE	13
LES VARIABLES	13
EPAISSEUR DE LA COUCHE 1000-500 mb	13
FLUX (DIR)	17
LA NATURE (TYP)	20
CLASSIFICATION	21
LA METRIQUE	23
PROCEDURE	24
CHOIX DE LA DISTANCE TAXONOMIQUE	26
RESULTATS: LES REGROUPEMENTS	29
REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA CLASSIFICATION	30
LES GROUPES	34
GROUPE I	34
GROUPE II	37
GROUPE III	38
GROUPE IV	39
III. NIVEAU LOCAL: LES REGIMES THERMIQUES	41
SERIE TEMPORELLE	41
AVANTAGES	42
LA METRIQUE	44

IV.	RELATIONS ENTRE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE ET REGIMES THERMIQUES	52
	L'ANALYSE DISCRIMINANTE	52
	DEFINITION DE LA DISCRIMINATION	54
	METRIQUE DE LA FONCTION LINEAIRE DISCRIMINANTE	55
	UTILISATIONS DE L'ANALYSE DISCRIMINANTE	58
	PROCEDURE	59
	RESULTATS DE L'ANALYSE DISCRIMINANTE	61
	LES ETAPES	61
	COMPORTEMENT DES GROUPES	62
	FONCTIONS DISCRIMINANTES	64
V.	INTERPRETATION DES RESULTATS	69
	LES FONCTIONS DISCRIMINANTES	69
	POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES	70
	RELATION VARIABLE/FONCTIONS	70
	LES TYPES DE TEMPS	75
	A, B ET D MOINS BIENS DEFINIS	77
	SANS LE GROUPE C	79
	SUCCESSION DES GROUPES	84
	CONCLUSION	92
VI.	CONCLUSION	94
	BIBLIOGRAPHIE	100

LISTE DES TABLEAUX

<u>TABLEAU</u>	<u>page</u>
1. CLASSES DES EPAISSEURS DE LA COUCHE DE 1000-500 mb SELON LA COURBE NORMALE DES VALEURS	26
2. POURCENTAGE DE LA VARIANCE EXPLIQUEE POUR CHACUNE DES HARMONIQUES DU 30 JUIN ET DU 2 JUILLET 1982	49
3. POURCENTAGE DE CLASSIFICATIONS CORRECTES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, C, D.	63
4. D^2 DE MAHALANOBIS ET PROBABILITE A POSTERIORI POUR CHACUN DES GROUPES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, C ET D	65
5. VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES	67
6. MOYENNES DE GROUPE POUR CHACUNE DES VARIABLES RETENUES PAR LES FONCTIONS DISCRIMINANTES.	78
7. POURCENTAGE DE CLASSIFICATIONS CORRECTES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, D.	80
8. D^2 DE MAHALANOBIS ET PROBABILITE A POSTERIORI POUR CHACUN DES GROUPES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, ET D	82
9. VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES	86
10. POURCENTAGE DE CLASSIFICATIONS CORRECTES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES (A+B) ET D.	87
11. MOYENNE DE GROUPE POUR CHACUNE DES VARIABLES DISCRIMINANTES	88
12. VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES	89
13. ECART TYPE DES DISTANCES INTRA ET INTER-GROUPE DE LA DISCRIMINATION DES GROUPES (A+B) ET D.	90
14. COMPARAISON ENTRE LA NOMENCLATURE DES TYPES DE TEMPS EMPLOYEE PAR LAGAREC ET GEURTS (1984) ET L'AUTEUR	96

LISTE DES FIGURES

<u>Figure</u>	<u>page</u>
1. CARTE DE LOCALISATION DU TERRAIN D'ETUDE	5
2. CLASSIFICATION CLIMATIQUE PAR KENDREW ET KERR, 1955.	8
3. VARIATION DE PRESSION SURFACE/TROPOSPHERE (Barry and Chorley, 1968).	15
4. SITUATION DE BLOCAGE (Rex, 1951).	18
5. POURCENTAGE DE LA FREQUENCE D'APPARITION DE SITUATION DE BLOCAGE A 500mb, SUR LE PACIFIQUE,	19
6. TRAJECTOIRE DES VENTS D'OUEST (Pédelaborde, 1970).	21
7. COURBE DE LA PERTE D'INFORMATION	31
8. DENDROGRAMME DES REGROUPEMENTS	33
9. REPARTITION TEMPORELLE DES TYPES DE TEMPS SYNOPTIQUES	35
10. FONCTION SINUS ET COSINUS ENTRE 0 ET 2 (0-360°) (Barry and Chorley, 1970).)	45
11. COURBES DES HARMONIQUES POUR N=1, 2 ET 4 (Barry and Perry, 1973).	46
12. COURBES HARMONIQUES DES TEMPERATURES JOURNALIERES POUR LE 30 JUIN ET LE 2 JUILLET 1982.	50
13. AXES DISCRIMINANTS (Mather, 1976).	56
14. POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, C, D.	72
15. POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, D.	85

16.	COURBES REELLES DES JOURNEES REPRESENTATIVES DES GROUPES (A+B) ET D.	91
17.	SITUATIONS DES TYPES DE TEMPS TELQUE DEFINIS PAR LAGAREC ET GEURTS (1984)	97

INTRODUCTION

Le parc national de Kluane et la région du Ruby Range attirent beaucoup de chercheurs par leur richesse en phénomènes glaciaires. Que ce soit en palynologie, en hydrologie ou en géomorphologie, tous y trouvent un sujet satisfaisant leurs intérêts. Cela s'étend même à la climatologie. La position géographique de ces régions et particulièrement celle du Ruby Range, fait de ce territoire un sujet d'étude climatique captivant.

Le travail que nous présentons est un essai de classification des types de temps du S.O. du Yukon, à l'aide de méthodes d'analyse quantitative. Nous essaierons en fait de vérifier l'hypothèse qui suit: Un type de temps anticyclonique favorisera un climat de vallée bien individualisé et vice versa dans le cas d'un type de temps cyclonique.

La région étudiée se situe dans le sud-ouest du Yukon, là où la continentalisation des masses d'air d'ouest se fait sentir, semblable à l'effet de Chinook en Alberta. Les données ont été recueillies entre le 20 juin et le 20 août

1982 dans la vallée Gladstone. Afin de permettre une bonne interprétation des regroupements, nous établirons premièrement la notion de types de temps. De plus, le travail sera divisé en deux niveaux d'étude; c'est-à-dire que l'espace climatique sera découpé en climats régional (synoptique) et local (la vallée).

Nous procéderons selon une suite décroissante, commençant avec le niveau régional où les variables synoptiques seront classifiées à l'aide d'une méthode de groupement basée sur le critère du centroïde. Les groupes ainsi obtenus devront représenter les types de circulations atmosphériques. Pour sa part, l'information au niveau local sera traitée par l'analyse harmonique, et transformée en composantes de régimes thermiques, pour une meilleure manipulation. Du rapprochement des deux ~~niveaux~~ niveaux d'étude résulteront les types de temps. Ceux-ci ainsi que le comportement du climat de vallée seront déterminés par l'entremise de l'analyse discriminante. Les résultats vérifient notre hypothèse et peuvent servir ~~d'exemple~~ pour d'autres études plus approfondies.

CHAPITRE I CADRE CONCEPTUEL

1.1 CRITERES DE SELECTION

La région que cette recherche se propose d'étudier est des plus intéressantes en raison de sa localisation. En effet, la vallée du Ruisseau Gladstone est sise à la convergence de masses d'air maritimes, continentales et continentalisées. Pour ces dernières, il est question de masses d'air primaires de provenance maritime, en l'occurrence du Pacifique et de la mer de Beaufort, qui en se déplaçant vers l'intérieur des terres, voient leurs caractères se modifier jusqu'à devenir continentaux; d'où le terme "masse d'air continentalisée". Les caractéristiques propres aux masses d'air primaires et secondaires proviennent de leur origine et des conditions géographiques des régions qu'elles ont traversées.

Un second facteur dont il faut tenir compte afin de saisir l'importance d'une telle étude dans cette région est la présence, passée et actuelle, de glaciers. Certaines évidences glaciaires font preuve de l'existence antérieure de glaciers dans notre région. Selon Muller (1967, p.11);

"terminal moraines, kame terraces, and well developed marginal channels are in many places good indicators of the ice-limit". Encore aujourd'hui, nous retrouvons des glaciers de montagne dans les monts St-Elias à quelques 100 km de la vallée du Gladstone.

Ainsi, en ayant une meilleure connaissance du comportement synoptique, actuel et par conséquent une meilleure compréhension de sa portée sur le climat de la vallée, il sera possible, dans une certaine mesure, de prédire les effets qui résulteraient d'un changement au niveau synoptique par exemple, et de là, comprendre les changements qui ont pu causer le retrait, voir la disparition de glaciers dans la région nord-est du lac Kluane.

1.2 LA REGION

La vallée du Ruisseau Gladstone, situé à environ 61° latitude nord et entre 139°40' et 138°40' longitude ouest, entaille la chaîne de Ruby dans le sud-ouest du Yukon. La chaîne de Ruby, limitée au sud-ouest par le Shakwak Trench est une subdivision du Plateau du Yukon (voir figure 1).

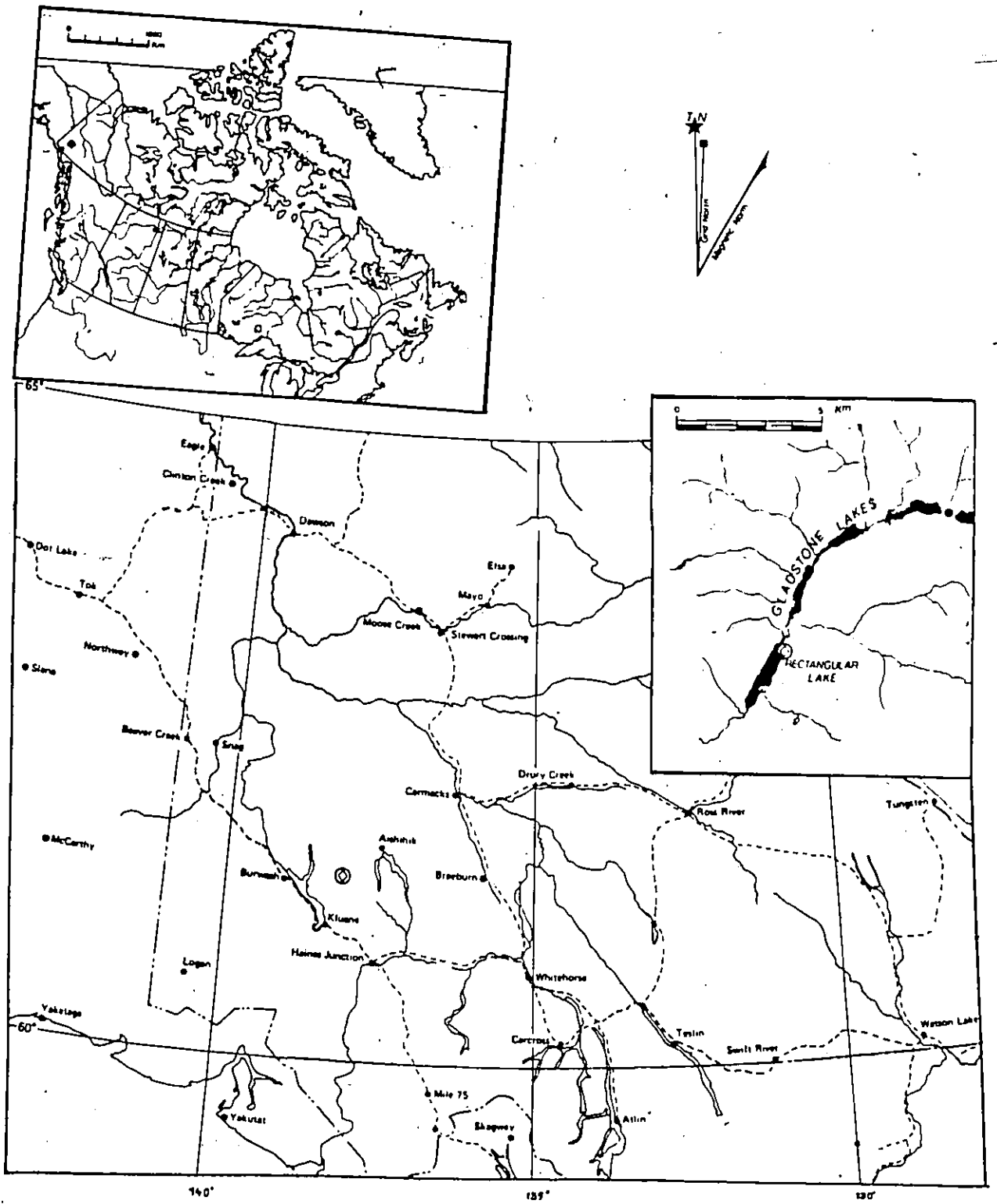


Figure 1: CARTE DE LOCALISATION DU TERRAIN D'ETUDE

Le relief y est atténué, à nombreux sommets plats ou arrondis dont l'élévation moyenne varie de 1200 à 1800 mètres d'altitude au dessus du niveau de la mer (Muller, 1967). Un système réticulé de vallées dissèque le plateau, dont certaines sont glaciaires avec soit des lacs, des marais ou des ruisseaux qui les occupent (Bostock, 1948, 1952).

Un facteur essentiel au point de vue climat de la région, est sa localisation au nord-est des Monts St-Elias. En fait, ceux-ci coupent notre région d'étude de l'océan Pacifique, non seulement d'un point de vue politique, mais physique également. Selon Reifsnnyder (1980), les caractéristiques dominantes du climat du sud-ouest du Yukon résultent de l'interaction entre la topographie et le flux principal d'ouest. Il ne fait aucun doute que la chaîne des Monts St-Elias, quasi perpendiculaire au flux normal, ait un effet considérable sur le climat régional. D'après Kendrew et Kerr (1955, p.147):

"Though from some of their highest points the Pacific is within sight our Region is essentially continental, for the ranges (St-Elias) are so high and continuous (despite the deep river-valleys which cut through them, but are too narrow and tortuous to form atmospheric corridors) that they form a strong climatic divide."

La température, de même que les précipitations reflètent l'existence d'une barrière climatique (climatic

7
divide), non pas sous forme de blocage des masses d'air, mais plutôt par une modification complexe de celles-ci, ou du moins, des effets en surface des systèmes de circulation atmosphériques (Taylor-Barge, 1969). C'est en ce sens que le climat de la région étudiée est continental. Kendrew et Kerr (1955) ayant subdivisé en régions climatiques le Yukon et le nord de la Colombie Britannique, ont classé la région en cause, "Central Interior", comme la plus continentale de toutes (voir fig. 2).

D'un point de vue plus général, les hivers sont longs avec des jours dont la durée d'illumination diminuée sous les six heures. Ceci contraste avec l'été court où le soleil se trouve au-dessus de l'horizon pour une période d'environ dix-neuf heures (Muller, 1967). Durant l'hiver les basses températures du côté continental des Monts St-Elias sont déterminées par le système de haute pression, Yukon-Mackenzie (Marcus, 1974; Barry, 1981), tandis que l'été est doté d'un temps pluvieux causé par un système dépressionnaire Aléoutien et du Golfe d'Alaska (Hare et Thomas, 1974). Les températures journalières moyennes en juillet sont de 15°C à 20°C (maximum) et de 5°C à 10°C (minimum). En janvier, les mêmes données sont de -25°C à -20°C (maximum) et de -35°C à -30°C (minimum). Bien qu'une part importante de l'humidité des masses d'air provenant du Pacifique soit condensée au cours de la trajectoire vers

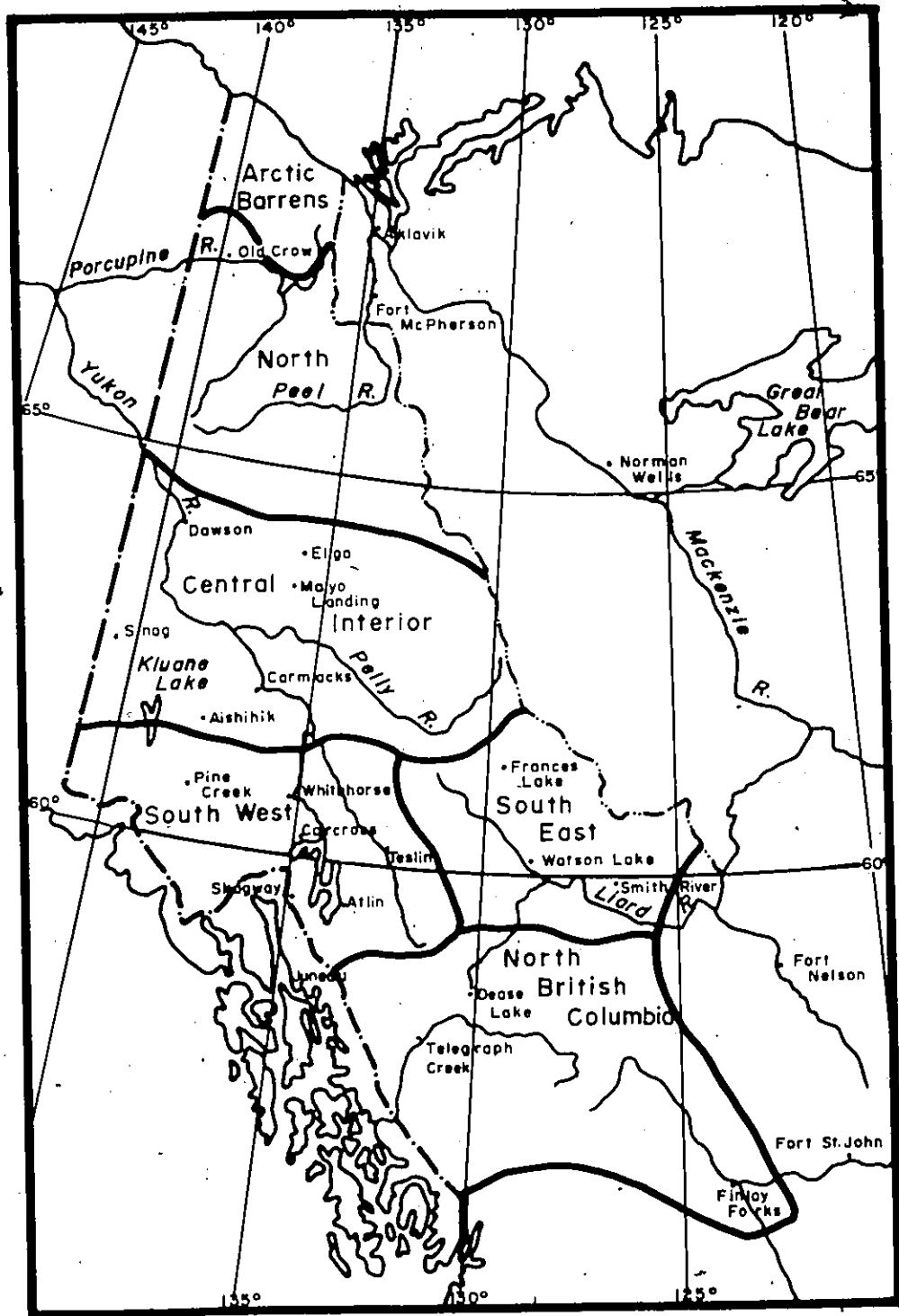


Figure 2: CLASSIFICATION CLIMATIQUE PAR KENDREW ET KERR, 1955.

l'est, il en reste tout de même une quantité substantielle. Il n'y a qu'à comparer la quantité de précipitation sous le vent et au vent des St-Elias. Avec les cartes de précipitation, on note qu'au vent des St-Elias, à Yakutat, la précipitation moyenne annuelle, est de 3251,0 mm (The National Atlas of the United States of America, 1970). D'un point de vue plus précis pour notre région d'intérêt, à Aishihik, les précipitations annuelles moyennes sont environ de 256.3 mm (Atlas National du Canada, 1974; Muller, 1967; Environnement Atmosphérique, Normales 1951-1980).

1.3 ECHELLES

Si l'objectif de cette recherche est de mieux comprendre le ou les liens qui existent entre le climat à l'échelle régionale et le climat à l'échelle locale ou de la vallée, il est avant tout nécessaire de connaître à fond chacun des deux niveaux, pour ensuite être en mesure de les comparer l'un à l'autre. Ce ou ces liens seront étudiés selon une suite décroissante. L'espace climatique peut être découpé en climats zonaux, régionaux, locaux et confinés. Le climat régional représente alors un faciès du climat zonal, le climat local du climat régional et le microclimat du climat local. Etant donné l'ampleur de ce travail nous ne tiendrons compte que des niveaux, régional et local.

Encore faut-il insister sur l'importance du concept d'échelle aux divers niveaux de l'analyse climatique territoriale et de l'acte essentiel que représente le passage d'une échelle à l'autre (Durand-Dastès, 1969).

L'étude du climat local requiert une bonne connaissance du climat régional. L'analyse des données météorologiques par l'intermédiaire de cartes synoptiques à 500 mb permettra de connaître les conditions atmosphériques qui prévalaient pour la période en cause. Selon qu'il y ait eu présence d'un centre de haute ou de basse pression, les différents paramètres climatiques en surface varieront selon un certain modèle; c'est du moins la croyance générale. Dans ce contexte, l'un des buts de cette thèse est de démontrer que cette affirmation est exacte. Nous nous devons donc d'analyser ce niveau par lui-même.

Suite aux résultats obtenus en étudiant le niveau supérieur, nous passerons à l'analyse du climat à l'échelle locale. A l'aide de certaines méthodes d'analyse comme par exemple l'analyse harmonique, il sera possible de caractériser ce second niveau en termes de composantes thermiques.

Ce n'est qu'à la suite d'une bonne vue d'ensemble des deux niveaux qu'il est possible de faire des comparaisons et

ainsi tirer nos conclusions en rapport avec le type de lien qu'il peut y avoir entre les situations synoptiques régionales et le climat à l'échelle locale.

1.4 NOTIONS DE TYPES DE TEMPS

Il nous intéresse donc de connaître les types de temps qui ont dominé au cours de l'été 1982. Précisons d'abord l'expression "type de temps". Pour certains, le "type de temps synoptique" n'est pas le seul "type de temps" concevable: Hufty (1982) combine entre eux les éléments du temps. Comparer des climats revient alors à comparer des fréquences de combinaisons du temps que l'on peut baptiser type de temps, faute d'un terme plus approprié (Hufty, 1971). D'après Pagney (1973) les "types de temps" sont représentés par les combinaisons traduites par des états atmosphériques qui réapparaissent sensiblement identiques au-dessus d'une région, à intervalles plus ou moins réguliers, soit une combinaison de paramètres climatiques.

En ce qui a trait à cette étude, les types de temps découleront des relations entre paramètres climatiques en surface et la circulation atmosphérique, et non des temps synoptiques exprimés par cartes synoptiques. Aussi faut-il noter que le climat local sera ici étudié en termes de

régimes thermiques, la température étant un reflet de d'autres variables telle que l'humidité.

Les conditions journalières du temps sont très variables car elles dépendent de l'interaction de nombreux facteurs. Cependant, même si le temps n'est jamais similaire, si chaque journée est unique, on note l'apparition de certaines régularités qui se répètent. Lorsqu'une combinaison réapparaît fréquemment (pas exactement, bien sûr, mais avec des constituants très voisins et en produisant des effets semblables), elle constitue un type de temps (Pédelaborde, 1970).

Il nous intéresse donc de connaître chacun des deux niveaux d'étude. Pour ce faire, la circulation atmosphérique sera dans un premier temps abordée pour ensuite faire place à l'échelle locale et enfin aux liens qu'il peut y avoir entre les deux.

CHAPITRE II

NIVEAU REGIONAL: LA CIRCULATION ATMOSPHERIQUE

2.1 LES VARIABLES

Si nous récapitulons, la circulation atmosphérique est caractérisée par une combinaison "d'états atmosphériques". Nous avons déterminés ceux-ci à l'aide d'une classification appliquée sur sept variables synoptiques; l'épaisseur de la couche de 1000 mb à 500 mb pour cinq stations (section 2.1.1), puis la direction du flux et la nature du système, anticyclonique ou cyclonique tous deux au dessus de notre région. Ces variables sont tirées des cartes synoptiques journalières publiées par le département du Commerce des U.S.A., pour la période en cause.

2.1.1 EPAISSEUR DE LA COUCHE 1000-500 mb

L'intérêt que nous avons vu dans l'utilisation de l'épaisseur de la couche de 1000 mb à 500 mb, est que cette mesure traduit la présence d'un anticyclone; mince couche, ou d'une dépression avec une couche plus épaisse. En comparant les champs de pression au sol et en altitude nous constatons qu'il n'y a pas nécessairement correspondance entre les deux. Certains individus isobariques se

renforcent d'autres au contraire s'affaiblissent ou disparaissent au-delà de quelques kilomètres, pour s'inverser un peu plus haut. Pour comprendre les dispositifs variés, il faut faire intervenir la densité de l'air, elle même soumise à la température. En effet la pression atmosphérique décroît vers le haut plus vite dans un air froid dense que dans un air chaud peu dense. Cela revient à dire que l'épaisseur d'une couche comprise entre deux surface isobares est étroitement réglée par la température: d'autant plus réduite que l'air est plus froid, d'autant plus grande que l'air est plus chaud. Les relations entre les conditions de la pression en surface et au niveau de la troposphère sont illustrées à la figure 3 .

Dans le cas d'un anticyclone froid, la diminution de pression en altitude est si rapide qu'au delà de quelques kilomètres les hautes pressions ne sont plus sensibles ou laissent même éventuellement la place à des basses pressions relatives (fig. 3a). Une dépression aura également tendance à s'estomper, à se combler en altitude puisque la décroissance de pression est lente dans l'air chaud (fig. 3b).

En revanche, un anticyclone qui serait constitué d'air chaud aurait tendance à se maintenir ou même se renforcer en altitude (fig. 3c). De la même manière une dépression

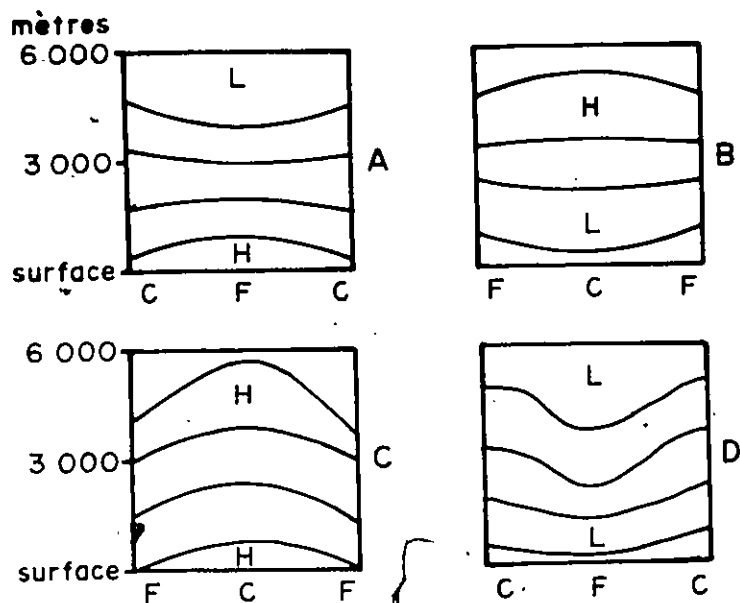


Figure 3: VARIATION DE PRESSION SURFACE/TROPOSPHERE (Barry and Chorley, 1968).

froide pourra s'accroître et se creuser en altitude (fig. 3d). Nous voyons à l'aide de ces exemples combien il est important de connaître la situation barométrique en altitude, quand nous voulons comprendre le temps et son évolution (Barry et Chorley, 1968; Estienne et Godard, 1970).

En admettant que l'épaisseur de la couche 1000 à 500 mb au-dessus de notre région soit liée à celle au-dessus du

secteur plus au nord ou à l'ouest du Ruby Range et pour pouvoir intégrer dans un contexte spatial la situation de notre région d'étude, au point de vue synoptique, nous n'avons pas seulement considéré l'épaisseur de la couche de la station la plus proche de Gladstone, en l'occurrence Whitehorse, mais d'autres stations également. Vue l'échelle à laquelle nous travaillons et les propriétés dynamiques de cette variable, il serait difficile de bien représenter ce niveau avec une seule valeur prise au-dessus de notre région. Les quatre autres stations sont Dawson (Daw) au nord, à l'est Watson Lake (Wat1), et deux stations du côté maritime des monts St-Elias; Skagway (Ala1) et Yakutat (Ala2). Le choix de stations des deux côtés des monts St-Elias a été fait dans le but de tenir compte de la continentalisation des variables caractérisant la circulation atmosphérique. Cette chaîne de montagnes joue un rôle important et il est nécessaire que son influence soit reflétée. Après standardisation des variables, celles-ci ont été subdivisées en quatre classes permettant la comparaison et la manipulation de données quantitatives et qualitatives. Tel est le cas des deux dernières variables.

2.1.2 FLUX (DIR)

Les caractéristiques des masses d'air sont dues et à l'origine de celles-ci et aux conditions géographiques des régions qu'elles ont traversées. L'origine des masses d'air s'avère donc une variable capitale. La masse caractérisée par son origine permet une meilleure définition du temps et par la même occasion inclut même l'explication (Pédelaborde, 1970). Or, en connaissant l'origine d'une masse d'air, nous pouvons mieux comprendre les éventuels groupements.

A l'aide des cartes synoptiques de la surface de 500 mb nous avons pu déterminer la direction du flux pour chaque journée. Les flux ont été divisés en quatre classes, dont une situation de blocage, puis selon les directions; un secteur nord, un secteur sud-ouest et un troisième secteur, sud-est. Dans les hautes et moyennes latitudes il arrive que la formation de hautes pressions dans la couche 1000-500 mb incitent les basses pressions au niveau de la mer à se diviser vers le nord et vers le sud de cet anticyclone. Parce que le courant normal d'ouest (westerlie) est "bloqué" et qu'il est divisé en deux branches (voir fig. 4), nous nous référons à cette situation comme une situation de blocage. Celle-ci une fois formée est relativement stable. Les échanges méridiens sont dans un tel cas considérables et favorisent un temps chaud et sec (Estienne et Godard, 1970; Lockwood, 1979). La figure 5 montre que la situation de

blocage est surtout un phénomène printanier avec le maximum du nombre de jours où apparaissent les situations, de mars à mai. D'autre part, notre aire d'étude est particulièrement affectée puisque comme l'indique la figure 5, la position moyenne des situations de blocage se trouve autour de 150° de longitude. De plus, la variation saisonnière que montre la position moyenne des situations apparaît parallèle au déplacement de la dépression d'Islande (Reiter, 1963). Les caractéristiques propres aux flux rendent possible le regroupement et diminue ainsi le nombre de classes sur lesquelles sera opéré la classification.

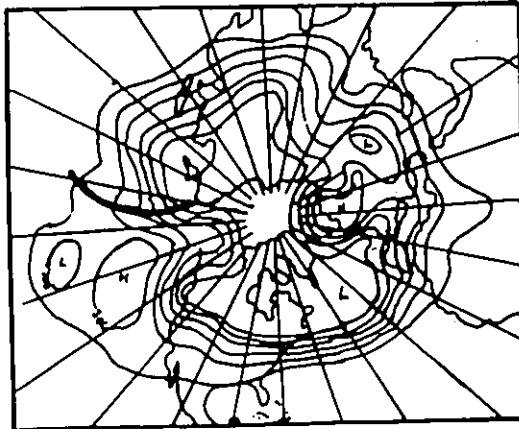


Figure 4: SITUATION DE BLOCAGE (Rex, 1951).

Le secteur nord renferme les flux provenant du nord-ouest au nord-est. Ceux-ci devraient être suffisamment

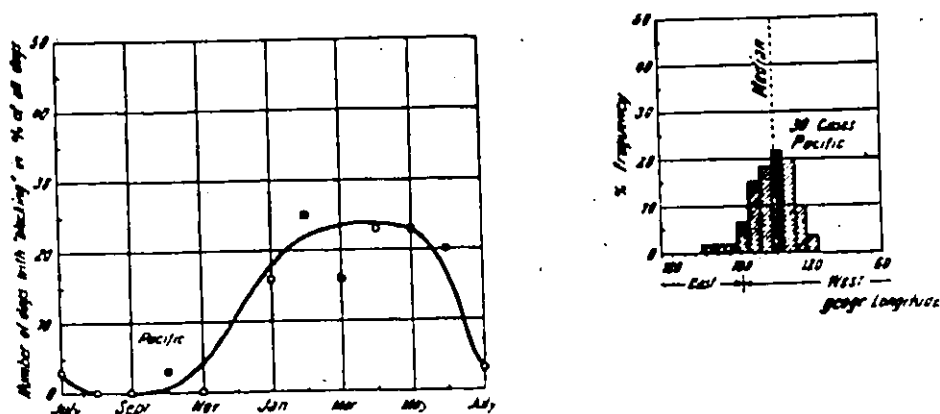


Figure 5: POURCENTAGE DE LA FREQUENCE D'APPARITION DE SITUATION DE BLOCAGE A 500mb, SUR LE PACIFIQUE, POUR DIFFERENTES LONGITUDES (Reiter, 1963).

semblables puisque les conditions géographiques des régions d'où ils viennent, de même que celles qu'elles ont traversées sont semblables et peuvent donc engendrer des changements comparables aux masses d'air. Ces changements ou modifications font en sorte que les masses d'air se ressemblent quant à leurs caractéristiques. Elles peuvent alors être regroupées sous une seule catégorie. Notamment, ce secteur nord correspond généralement à des situations de vallée. Le secteur sud-ouest, qui coïncide aux situations de crête, couvre en fait les flux dont la direction passe du sud à l'ouest. Ces flux sont tous soumis à l'influence des monts St-Elias avant d'atteindre la région de la vallée du Gladstone. Ceux-ci sont au départ maritimes (Golfe d'Alaska, Océan Pacifique), puis se continentalisent en

traversant cette chaîne de montagnes. Notons qu'il y a dans ce cas risque de dilatation de la couche 1000-500mb et donc débordement de la masse d'air par dessus les St-Elias. La dernière classe, ne comprend qu'une direction de flux; sud-est. Ce type de masse d'air est continental, causé soit par une dépression sur le nord-ouest de la Colombie Britannique, soit par un anticyclone au nord-est de cette même province.

Les vents en altitude sont parallèles aux isobares et d'autant plus fort que les lignes de pression sont proches. Aussi rencontre t'on une circulation d'ouest dominante. Cette circulation ne suit pas une courbe simple, mais au contraire, la trajectoire que suit la ceinture supérieure des vents d'ouest d'écrit des ondulations vers le nord et vers le sud. La figure 6 montre de même que ces ondulations causent la pénétration d'air froid des hautes latitudes vers le sud (à l'intérieur des vallées de l'ondulation) tandis que l'air chaud des basses latitudes s'avance vers le nord (à l'intérieur des crêtes de l'ondulation) (Pédelaborde, 1970; Critchfield, 1983).

2.1.3 LA NATURE (TYP)

La septième variable utilisée est tout simplement la nature de la masse d'air; anticyclonique ou cyclonique, tel que notée sur cartes synoptiques en surface et en référence

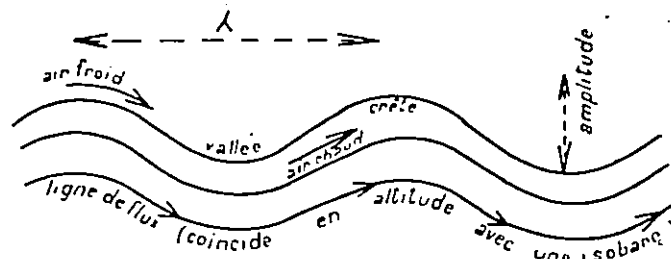


Figure 6: TRAJECTOIRE DES VENTS D'OUEST (Pédelaborde, 1970).

à la figure 3, qui avait son influence sur notre secteur pour la journée considérée. Comme il arrive que la région considérée ne soit pas directement au centre d'une masse de haute ou de basse pression, la nature de la masse d'air influente fut décidée par rapport à la position des fronts.

2.2 CLASSIFICATION

Le but de la classification est de rassembler les données en un petit nombre de groupes, lesquels ont une distance ou variance intra-groupe minimisée et, par définition, une variance inter-groupe maximisée (Johnston, 1968). Marchand (1972) voit trois problèmes à la construction d'une classification; le choix des variables, qui ne dépend que du chercheur, la définition d'une distance

taxonomique et enfin la procédure de regroupement. Il existe plusieurs méthodes d'analyse de groupement (cluster analysis) (Sneath et Sokal, 1973) qui se différencient selon qu'elles sont divisives ou agglomératives; hiérarchiques ou non. La procédure agglomérative part d'un ensemble d'individus et fait un regroupement par un processus d'accumulation basé sur plusieurs variables à la fois, tandis que le processus divisif subdivise la population de départ en groupe selon un critère précis, tel la présence ou l'absence des variables. La première est de loin la plus utilisée des géographes (Johnston, 1970).

La méthode agglomérative hiérarchique qui sera ici utilisée, est bâtie sur le fait que selon un nombre (n) d'observations, chaque groupe au niveau (i) fait partie d'un groupe supérieur au niveau ($i+1$) et tous les groupes se retrouvent dans un groupe principal au niveau ($n-1$).

Le choix des méthodes d'analyse de groupement hiérarchique est vaste et varie selon les algorithmes utilisés, tels le plus proche voisin, la médiane, la moyenne et le centroïde pour n'en nommer que quelques uns. A cause de sa simplicité tant théorique que pratique, nous avons choisi le centroïde comme critère à la base de notre classification. Le centroïde définit en fait la distance entre deux groupes comme la distance entre leurs centroïde

et fusionne à chaque étape les deux groupes les plus proches ou similaires (Beguin, 1979). Ce groupement de points tirés d'un diagramme de dispersion reste surtout à conseiller quand le nombre des variables est faible.

2.2.1 LA METRIQUE

L'approche mathématique de la classification se définit selon Lance et Williams (1966) et Mather (1976), de la façon suivante; supposons trois groupes (h), (i) et (j) ayant chacun (n_h), (n_i) et (n_j) éléments ainsi qu'une distance inter-groupe (d_{hi}), (d_{hj}) et (d_{ij}). Nous pouvons assumer que la plus courte distance est d_{ij} , donc (i) et (j) formeront le groupe (k), avec ($n_k = n_i + n_j$) éléments. Nous assumons également la relation linéaire:

$$d_{hk} = \alpha_i d_{hi} + \alpha_j d_{hj} + \beta d_{ij} + \gamma d_{hi} - \delta d_{hj}$$

où les paramètres α_i , α_j , β et γ déterminent la nature du critère de classification utilisé. Le centroïde est obtenu lorsque:

$$a_i = n_i / n_k; a_j = n_j / n_k; \alpha = -a_i a_j; \gamma = 0$$

Quand $\gamma = 0$, les valeurs minimums d_{ij} déterminées à chaque ($n-1$) regroupement seront monotoniques, c'est-à-dire sans regroupements rétrogrades ou inverses, à condition que $\alpha_i, \alpha_j, \beta$

1. L'inconvénient principal de l'utilisation du centroïde comme algorithme vient du fait que cette condition n'est pas toujours observée. En d'autres mots, la distance entre le centroïde d'un groupe déjà formé et le cas le plus proche, est inférieur à celles qui ont déterminées les regroupements précédents. Cependant, l'interprétation de la classification n'en est pas toujours pour autant gênée (Mather, 1976; Johnston, 1970; Beguin, 1979)

Ainsi, nous avons utilisé un programme BMDP2M pour faire l'analyse de groupement basée sur le centroïde. Celui-ci a été appliqué sur les sept variables mentionnées plus haut. La distance taxonomique choisie est celle de la distance du chi-carré (χ^2) et pour faire suite aux problèmes soulevés par Marchand (1972), la procédure est agglomérative hiérarchique.

2.3 PROCEDURE

Les méthodes de classification ne sont pas basées sur la matrice ($n \times p$) des observations, mais la matrice ($n \times n$) des mesures de similarité ou de dissimilarité de $n(n-1)/2$ paires d'observations sur les (p) variables (Mather, 1976). Le coefficient de similarité utilisé est en fait la distance dite du chi-carré (χ^2), soit les cas (j) et (k);

$$d_{jk} = \left[\left\{ \frac{(x_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}} + \frac{(x_{ik} - e_{ik})^2}{e_{ik}} \right\} \right]^{1/2}$$

$$\text{où } e_{ij} = \frac{(x_{ij} + x_{jk}) \sum_i x_{ij} / N_{jk}}{N_{jk} (x_{ij} + x_{ik})}$$

alors d_{jk} = distance inter-groupe (j-k)

x_{ij} = valeur observée du cas (j)

e_{ij} = valeur théorique du cas (j)

Au départ, chaque cas forme à lui seul un groupe. Puis selon cette dernière équation, la distance inter-groupe est calculée et étape par étape les deux groupes dont la distance est la plus courte sont groupés. C'est alors le centroïde de ces proto-groupes qui influencera le prochain regroupement. Ainsi le X^2 entre un groupe de deux individus et un individu pris seul par exemple, sera calculé sur la somme des "fréquences" de chacun des variables des deux journées regroupés et les valeurs propres à ce troisième individu.

Au sens strict, la distance du X^2 est destinée à traiter des tableaux de fréquences absolues. Tel n'est pas le cas de cette étude et nous pouvons ici mettre en question son utilisation.

2.3.1 • CHOIX DE LA DISTANCE TAXONOMIQUE

Dans la littérature, très peu d'auteurs mentionnent le cas des variables codées en classe et la façon de les traiter. Beguin (1979), conseille une matrice de départ dont les données sont homogènes, faute de quoi il faut les transformer et c'est ce qu'il appelle le "codage" des données. Puisque deux des sept variables sont nominales, Dir et Typ, ce codage des données était nécessaire. Dans cette optique, les épaisseurs (en mètre) de la couche entre 1000 et 500 mb ont été classées selon la courbe normale des valeurs (voir tableau 1).

TABLEAU 1

CLASSES DES EPAISSEURS DE LA COUCHE DE 1000-500 mb
SELON LA COURBE NORMALE DES VALEURS

	Whitehorse		Dawson		Watson Lake	
1	5231	- 5331	5276	- 5346	5291	- 5354
2	5331	- 5388	5346	- 5396	5354	- 5417
3	5388	- 5445	5396	- 5446	5417	- 5480
4	5445	- 5530	5446	- 5514	5480	- 5513
	Skagway		Yakutat			
1	5215	- 5246	5228	- 5315		
2	5246	- 5382	5315	- 5379		
3	5382	- 5518	5379	- 5443		
4	5518	- 6336	5443	- 5537		

Dans une certaine mesure ces codes peuvent alors être traités non pas comme des valeurs nominales, mais comme des valeurs ordinales étant donné l'existence d'un ordre entre les "codes". Pour la variable Typ, un code de 1 ou 2 a été utilisé selon que le type présent soit cyclonique ou anticyclonique et cela revient à l'absence-présence de la variable.

Bien entendu, dans le cas d'une matrice de données hétérogènes, il est peu certain de se baser sur les statistiques (moyenne, variance, etc) qui en résultent. Par contre, et surtout dans notre cas, où c'est la classification des individus en groupes qui nous importe, la méthode par la distance du χ^2 est acceptable. L'erreur engendrée par la variable Dir, qui elle ne peut être codée ordinalement, après vérifications est minime. Quant au choix de la distance utilisée, la distance euclidienne,

$$d_{ij} = \left(\frac{\sum_{k=1}^p (x_{ik} - x_{jk})^2}{p} \right)^{1/2}$$

aurait pu également être utilisée puisque cette méthode s'applique surtout à des mesures d'intervalle ou de rapport. Parks (1966, 1969; in Till, 1974 et Mather, 1976) suggère de coder les variables quantitatives de 0 à 1 selon l'équation suivante:

$$z_j = \frac{(x_j - x_{\min})}{(\text{écart des } x)}$$

et également de coder les variables qualitatives de 0 à 1. Une observation de deux états serait codée selon l'absence-présence et un de trois états par exemple varierait de 0(absent), 1/2(peu), 1(abondant).. Les mesures qualitatives ne peuvent être mises sous forme de rapport et, les codes assignés sont donc arbitraires. Suite au codage, Parks utilise la distance euclidienne, mais note que ceci n'est pas sans risque de biaiser l'information.

Finalement, nous aurions pu transformer la matrice de départ de manière à avoir 26 variables (celles-ci créées par chacune des possibilités des variables, ou encore des codes) et la traiter comme une matrice absence-présence sur laquelle nous appliquerions la classification avec comme critère le X^2 . Par contre, avec une telle matrice, nous calculerions des distances entre des combinaisons inexistantes. Il va sans dire que les résultats seraient critiquables.

Par conséquent, bien que la méthode du X^2 ne soit pas conseillée pour une matrice de données codées, il semble que dans notre cas ce critère de distance soit tout de même acceptable, vue les regroupements obtenus.

2.4 RESULTATS: LES REGROUPEMENTS

Les résultats obtenus sont numériques. Soit une matrice de départ de 64×7 , où les 64 jours ou cas sont caractérisés par sept variables. La fusion à chaque niveau successif avec la valeur d_{ij} minimum associée est donnée de façon numérique. C'est ce qu'on appelle l'ordre de liaison (linkage order). Les regroupements s'effectuent de manière à ce que les deux cas réunis à la première étape sont ceux dont la similarité est la plus forte quant au type de circulation atmosphérique. Dans notre cas, plusieurs journées possèdent des distances nulles ou quasi nulles. Au 63ième et dernier regroupement, les 64 cas se retrouvent au sein d'un même ensemble.

Puisque la distance d'amalgamation représente la similarité, ou la dissimilarité des groupes; les deux groupes les plus dissemblables sont regroupés au dernier palier avec une distance maximum. Parallèlement, cette distance d'amalgamation peut être vue comme la perte d'information qui résulte de chacun des groupements. On peut alors représenter le résultat de la procédure en une courbe (figure 7), où cette perte d'information est exprimée relativement à la perte d'information totale.

2.4.1 REPRESENTATION GRAPHIQUE DE LA CLASSIFICATION

La courbe ainsi obtenue montre que la perte d'information n'est pas constante sur toute la durée du regroupement, mais au contraire, on note une brusque augmentation au niveau des derniers regroupements et entre autre, une rupture de pente évidente entre les 60ième et 61ième paliers. En terminant la classification entre ces deux paliers, le rapport du nombre de groupes obtenus versus la perte d'information est optimale. Ainsi, nos 64 jours d'observation se divisent en quatre groupes, avec une perte d'information de 37%. Bien qu'un pourcentage plus faible de la perte d'information eu été souhaitée, il semble que nos résultats soient tout de même satisfaisants puisque les groupes s'expliquent aisément. Rappelons que nous cherchons à rassembler les données en un nombre de groupes relativement petit et que celui-ci doit être significatif.

Dans le cas d'une rupture de pente nette, l'endroit où arrêter la classification est très évident, sachant que le but de la classification est de produire des groupes les plus homogènes possibles. Nous recherchons donc le palier où la distance inter-groupe augmentera brusquement puisque plus grande est la distance moins semblables sont les groupes à ce palier. Par contre, le niveau auquel il serait préférable d'arrêter le processus, n'est pas toujours aussi évident et par conséquent une certaine part de subjectivité entre en jeu.

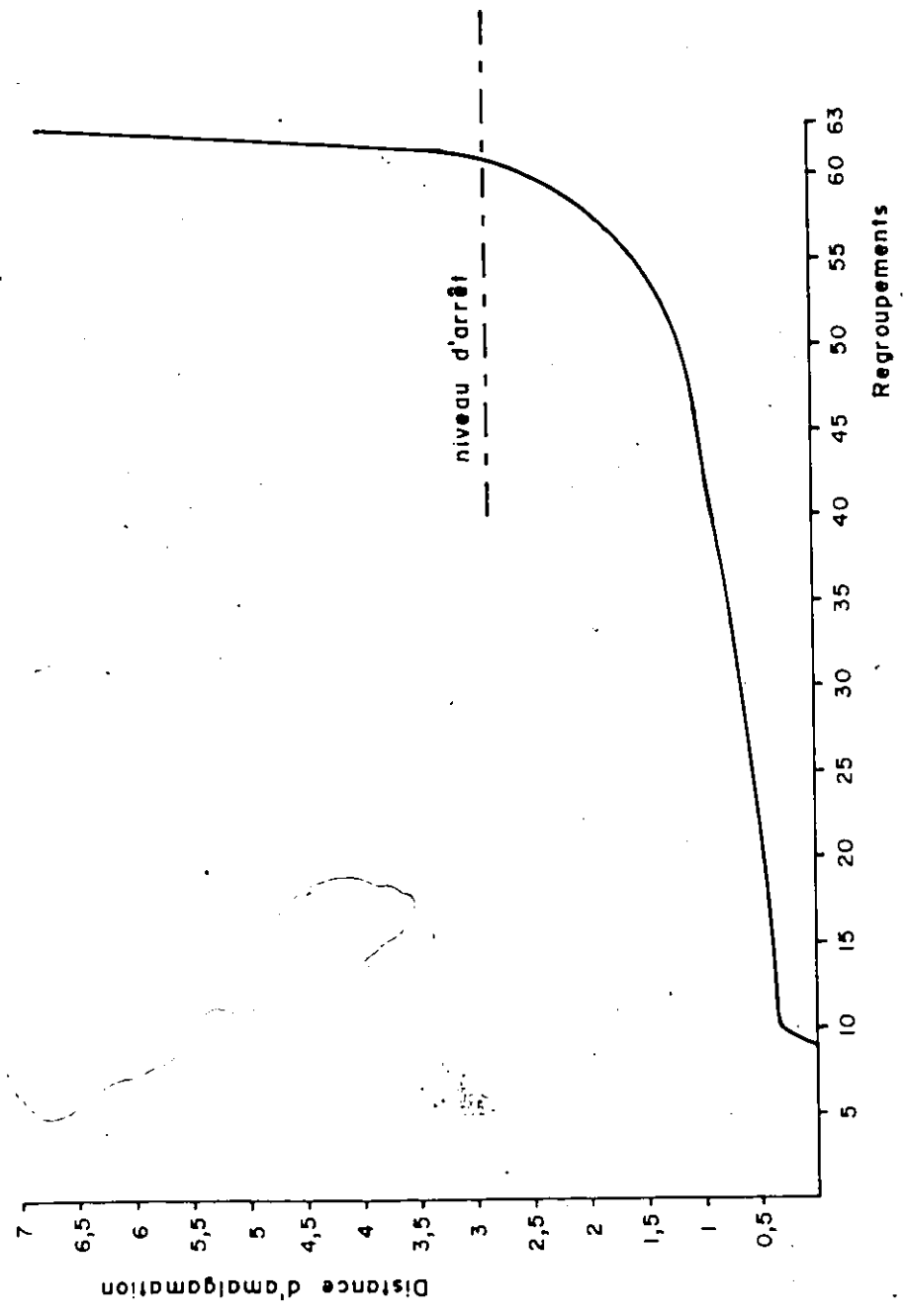


Figure 7: COURBE DE LA PERTE D'INFORMATION

Cette information est représentée graphiquement sous forme d'"arbre" ou dendrogramme des regroupements (figure 8). Ce dendrogramme montre les regroupements par étape, avec les jours en abscisse et la distance d'amalgamation en ordonnée. En fait, le dendrogramme visualise l'ordre des regroupements et sert à montrer de quels cas ou journées sont formés les groupes retenus. Après avoir décidé où cesser le processus, nous pouvons représenter les groupes ou classes obtenues sur ce dendrogramme. Il s'agit de tirer une ligne entre les deux paliers en question, puis de déterminer de quels jours sont composées chacune des classes.

2.5 LES GROUPES

Des quatre classes, deux renferment chacune un tiers des cas et les deux classes restantes se partagent le dernier tiers. La figure 9 montre non seulement lesquels cas composent les groupes, mais montre aussi comment sont répartis ceux-ci sur les 64 jours considérés. Rappelons que ces groupes devraient refléter des types de circulation atmosphérique. Afin que le lecteur puisse mieux suivre la discussion des chapitres suivants, les lettres A, B, C, D, de la figure 9, correspondent aux groupes I, II, III et IV respectivement de la figure 8.

2.5.1 GROUPE I

Le premier regroupement est composé principalement de deux séquences. Nous retrouvons celles-ci peu après la mi-juin (20 au 23 juin) et en début d'août (2 au 6 août), respectivement. Ces deux sous-groupes comptent pour 74% des jours de type I. On note également deux cas qui se suivent peu après la mi-août. Ceux-ci sont très similaires aux journées de juin, de ce même groupe. Finalement, deux jours isolés, dont un à la deuxième semaine de juin et un à la deuxième semaine d'août complètent ce groupe I.

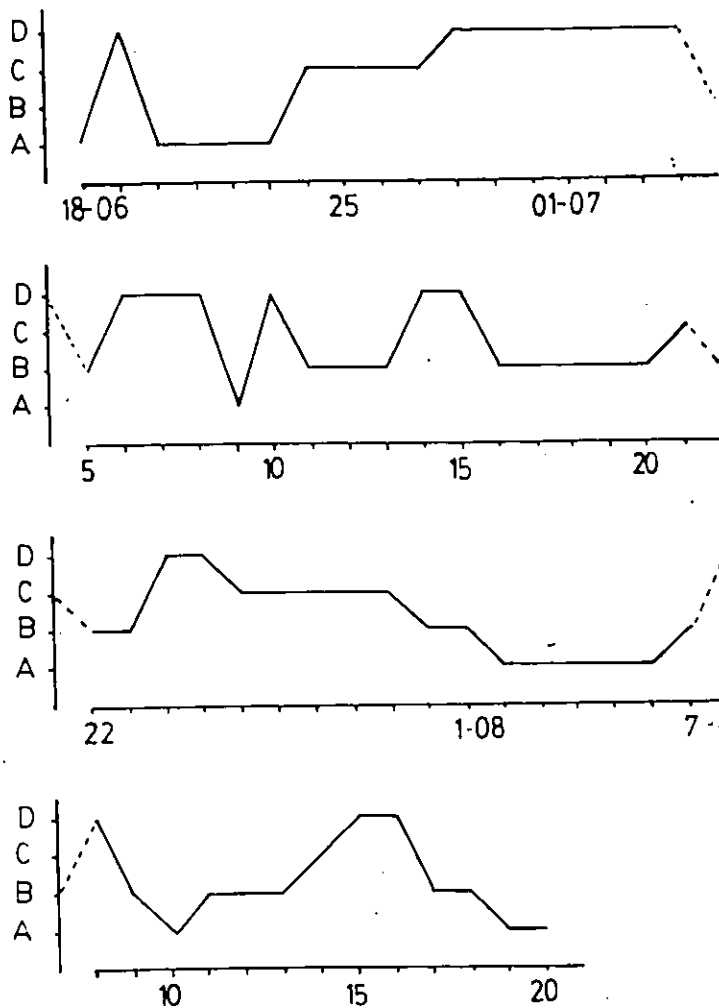


Figure 9: REPARTITION TEMPORELLE DES TYPES DE TEMPS SYNOPTIQUES

L'interprétation de ce premier groupe n'est pas des plus simples puisque l'on retrouve ici des jours très différents quant à l'origine du flux. Par ailleurs, le type retrouvé est majoritairement cyclonique, avec une concentration anticyclonique au début d'août. Quant à l'épaisseur de la couche entre 1000 et 500 mb, la distinction entre les jours semble se faire surtout en comparant le côté maritime des St-Elias avec l'intérieur des

terres. Il en est de même pour l'ensemble des regroupements. En fait, le groupe I se distingue des trois autres par la différence peu nette qu'il peut y avoir entre les deux côtés de la chaîne de montagne en question, et par un amalgame de directions du flux. C'est-à-dire que dans ce même groupe il existe des jours où l'épaisseur de la couche 1000 à 500 mb est plus épaisse du côté maritime et d'autres où elle est plus mince. De plus, ce groupe ne se distingue pas par une fréquence élevée d'un flux plutôt qu'un autre. Nous retrouvons au contraire des flux du S-SW, du N-NW, des flux de transition et du zonal.

Ce groupe I, qui ne renferme pas de journées aux caractéristiques particulières, peut être vue comme un type de circulation de transition. Nous expliquons ceci par le fait qu'entre le passage de deux types de circulation bien définis, il existe une période de temps allant de quelques heures à quelques jours, qui subit toujours l'influence du temps passé, mais qui déjà annonce le temps à venir. Les caractères climatiques sont donc moins bien définis et par conséquent ces journées ne peuvent être classées dans les groupes II, III ou IV. On note d'ailleurs que les regroupements se font assez tard (cfr. dendrogramme). Aussi, les deux suites de jours que compte le groupe I coïncident avec le passage du front arctique au-dessus de notre région et correspondent respectivement au début et à la fin de la saison estivale. Par le fait même, les deux

suites de ce groupe correspondraient à un temps froid accompagné de précipitations.

2.5.2 GROUPE II

Le groupe II peut être divisé en six sous-groupes, avec en général une succession de 2 à 3 jours sauf pour un sous-groupe qui s'étend sur cinq jours. Il y a d'abord une suite allant du 11 au 13 juillet, une du 16 au 20, une du 22 au 23, puis le 31 et 1er août, puis une allant du 11 au 13 août et enfin le 17 et 18 août terminent ce groupe II.

Ce dernier est caractérisé par l'influence d'une dépression (85%) et des flux indiquant la continentalisation des masses d'air. Celles-ci sont en provenance du NW, NE, W, SW et S. On y retrouve quelques cas où ce sont des masses d'air continentales du SE. Quant à la différence dans l'épaisseur de la couche 1000-500mb, celle-ci est faible mais tout de même plus épaisse sur le littoral que vers l'intérieur des terres. Nous qualifions donc ce groupe II de cyclonique maritime humide.

Le groupe II serait, d'après la classification obtenue représentatif d'une circulation atmosphérique cyclonique relativement fraîche et peu stable dont l'origine de la masse d'air est maritime du Golfe d'Alaska.

2.5.3 GROUPE III

Le groupe III compte onze journées d'observation séparées en deux sous-groupes. On retrouve ces derniers respectivement sur la fin juin (24 au 27 juin) et la fin juillet (26 au 30 juillet). Bien que petit en nombre, ce groupe semble être le mieux défini des quatre groupes obtenus. Nous remarquons en fait, surtout la direction d'où provient le flux pour voir que pour l'ensemble du groupe, la direction est du secteur 4, soit du NW au NE. La différence n'est pas aussi nette pour le type de la masse d'air puisque nous retrouvons autant de journées anticycloniques que cycloniques. En ce qui concerne les cinq autres variables, encore une fois le groupe se distingue par une différence dans l'épaisseur de la couche de 1000 à 500 mb. Par contre, nous sommes cette fois en présence d'une couche généralement plus épaisse du côté continental.

Le groupe III correspond à un type de circulation originaire de la mer de Beaufort. L'air est sec et chaud et nous pouvons assumer que ces caractéristiques résultent du temps qu'a passé la masse d'air sur le continent. Elle s'est ainsi réchauffée et asséchée. De cette circulation résulte un temps relativement stable. On ne peut ici parler de haute ou de basse pression puisque les caractères de ceux-ci, dû au voyage sur le continent, se sont modifiés au point d'avoir une combinaison des deux.

2.5.4 GROUPE IV

La dernière classe, le groupe IV, se subdivise en trois sous-ensembles, dont un premier qui couvre en gros la quasi totalité du mois de juillet (28 juin au 15 juillet), mais qui est entrecoupé de quelques jours du groupe II. Les deux autres sous-ensembles ne comptent que deux jours et nous les retrouvons à la dernière semaine de juillet (24 et 25 juillet) et à la mi-août (15 et 16 août).

Ce groupe se différencie des trois premiers du fait que la majorité des cas qui le composent est du type cyclonique et proviennent généralement du SE, du SW et de situations de blocage. Ces deux dernières directions produisent sensiblement les mêmes caractéristiques pour une masse d'air donnée. Nous pouvons également remarquer que l'épaisseur de la couche entre 1000 et 500 mb est très semblable d'un côté comme de l'autre des St-Elias.

Ce regroupement se distingue également des autres par la stabilité des successions. L'air venant d'Alaska a eu le temps de bien se continentaliser et l'air du Golfe d'Alaska, en pénétrant les monts St-Elias, s'est également modifié. En fait, l'air ici continentalisé peut se comparer à celui des masses d'air continentales du SE. Le temps qui en résulte est sec et frais. Le groupe IV est donc relié au type cyclonique maritime, mais plus sec que le type II. Etant donné l'air provenant du Pacifique, le type II est

généralement très dilaté et il subit en plus une détente adiabatique au contact des montagnes, il y a "débordement" de la masse d'air par-dessus ces montagnes, suite à quoi l'air est moins modifié, moins continentalisé. De ce fait, le groupe II, semblable au groupe IV, s'individualise par l'influence d'air moins modifié et par conséquent plus humide.

Au point de vue de l'interprétation, les quatre groupes montrent l'influence des montagnes St-Elias. Ceci vient du fait qu'il n'y a pas de groupe purement maritime. Au contraire, nous avons un amalgame de masses d'air continentalisées et continentales au sein d'un même groupe, que l'on peut expliquer par la continentalisation des masses au contact du continent et surtout lors du passage au dessus des St-Elias. Les caractéristiques, continentales et continentalisées sont donc assez semblables pour former des groupes homogènes.

Les groupes II, III et IV présentent une grande homogénéité car constitués en majorité d'un seul type de masse d'air; 100% continentalisée du NW pour le groupe III et un partage égal entre les types continentalisés du SW et situation de Blocage et le type SE, d'où des caractères similaires, pour le groupe IV. Le groupe II comporte surtout des journées dépressionnaires, très peu stables.

CHAPITRE III

NIVEAU LOCAL: LES REGIMES THERMIQUES

A présent que nous avons déterminé, à l'aide de la classification, les types de circulation atmosphérique, il s'agit d'étudier ce qui se passe à l'échelle inférieure, soit en surface. Les données de température ici utilisées ont été enregistrées à l'aide de deux stations météorologiques. Etant donné le mauvais fonctionnement d'une première station, quelques journées se sont avérées incomplètes. Vu la corrélation élevée, de l'ordre de 0,90, entre les températures des deux stations, nous avons pu utiliser les journées de la seconde station située en aval de la première.

3.1. SERIE TEMPORELLE

Pour pouvoir analyser ce niveau, une connaissance approfondie des variables est nécessaire. Pour toutes méthodes d'analyse, quelques difficultés persistent. Celles-ci se rapportent surtout à la nature de l'information plutôt qu'aux problèmes mathématiques, devenus négligeables avec l'utilisation des ordinateurs. Le choix des variables étant le noeud de la question, il s'agit en effet de choisir.

les variables qui représentent au mieux le phénomène à étudier dans son extension souhaitée (Mather, 1976).

Aussi, nous voulons connaître le comportement du climat régional en déterminant les journées semblables, puis en les regroupant selon un caractère spécifique. Tout comme le niveau synoptique a été étudié en termes de la circulation atmosphérique, nous voulons envisager la surface sous forme de composantes d'un régime thermique.

Les données retenues pour étudier le climat de surface, sont les températures horaires pour chacune des journées prises en considération. En climatologie, à peu près toutes les matrices de données sont qualifiées d'un caractère chronologique, ce qui implique qu'elles constituent une série temporelle (Barry and Perry, 1973). Nous sommes ici en présence d'une série temporelle telle que définie.

3.2 AVANTAGES

Plusieurs études ont été entreprises avec des données de températures telles que la température maximum, moyenne et l'amplitude (Hufty, 1971, 1976; Bradley and England, 1979; Charre et Dumolard; 1973). Par contre, après quelques analyses les résultats obtenus n'apportaient en tant qu'information dans notre cas, qu'une différenciation entre les mois sur lesquels s'étend l'étude. Il semblerait au

départ que l'utilisation des statistiques thermiques usuelles, n'apporte qu'une quantité limitée d'information et qu'en plus il est impossible de procéder à une comparaison jour par jour puisqu'en fait nous comparons trois saisons; printemps, été, automne. Nous avons donc voulu étudier chaque jour de manière à déterminer les caractéristiques qui distinguent une journée des autres. Deux journées peuvent avoir la même température moyenne, mais l'une peut avoir un maximum de 25°C et un minimum de 5°C tandis que l'autre aurait des valeurs de 18°C et 12°C. Sur la base de la moyenne journalière, ces deux jours seraient identiques, mais au point de vue régime thermique, bien différents. Le principal avantage que présente l'analyse harmonique est qu'elle permet la comparaison, au même titre, de deux jours qui étudiés d'après les statistiques usuelles seraient semblables, mais en termes de régime thermique, sont différentes. Dans cette optique, il serait possible d'analyser une journée de juillet avec une journée de janvier par exemple. Un tel exemple est discuté à la section 3.3, à l'aide de la figure 12

Horn et Bryson (1960) et Sabbagh et Bryson (1962), se sont vus dans la même situation en voulant étudier les précipitations aux Etats-Unis et au Canada. Aussi ont-ils utilisé l'analyse harmonique pour régionaliser des régimes de précipitation et ainsi interpréter objectivement leurs résultats.

3.3 LA METRIQUE

Selon Barry et Perry (1973), s'il y a lieu de croire qu'une matrice de données soit périodique, nous pouvons représenter ces composantes par une série de courbes de fonctions sinus ou cosinus, appelées harmoniques. La forme de ces fonctions est représentée à la figure 10, pour une amplitude allant de 0 à 2π . Cette amplitude peut être équivalente à un intervalle de temps de 24 heures par exemple ou de douze mois. La première harmonique (fig. 11), représente la variance journalière pour une amplitude d'un jour et est représentée par une courbe sinus avec un maximum et un minimum aux 12 heures, tandis que la variance semi-journalière ou la 2ième harmonique est une courbe sinus avec deux maxima et deux minima, à 6 heures d'intervalles, et ainsi de suite, jusqu'à $n/2$ harmoniques pour (n) intervalles de temps considérés. Notons que la dernière harmonique est la somme de l'ensemble des fonctions sinus ou cosinus qui caractérisent la période de temps considérée.

Pour une série donnée nous avons la fonction $f(x)$ où;

$$\begin{aligned}
 f(x) &= a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + a_n \cos nx \\
 &\quad + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots + b_n \sin nx \\
 &= a_0 + 2 \left(\sum_{k=1}^n a_k \cos kx + \sum_{k=1}^n b_k \sin kx \right)
 \end{aligned}$$



où; a_0 = moyenne et n = longueur de la période, ou
 bien;

$$f(x) = a_0 + \sum_{k=1}^{n/2} (A_k \cos(kx - \phi_k))$$

où: $A_k = (a_k^2 + b_k^2)^{1/2}$, l'amplitude de l'harmonique

$\phi_k = \arctan(b_k/a_k)$, la phase

$$= \arcsin(b_k/A_k)$$

$$a_k = A_k \cos \phi$$

$$b_k = A_k \sin \phi$$

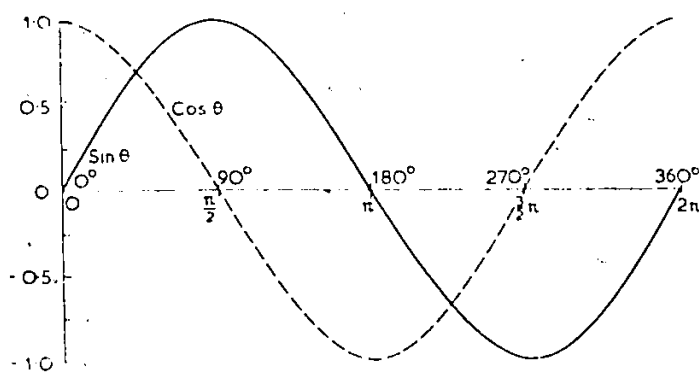


Figure 10: FONCTION SINUS ET COSINUS ENTRE 0 ET 2π (0-360°)
 (Barry and Chorley, 1970.)

Chacune des courbes, sinus ou cosinus, sont ajustées dans le but de produire la meilleure description mathématique des tendances (Horn et Bryson, 1960). Cet

ajustement est basé sur deux paramètres; la semi-amplitude et l'angle de phase. Le premier équivaut à la moitié de l'écart entre le maximum et le minimum de la courbe sinus tandis que le second détermine la période à laquelle se manifestera le maximum et conséquemment, le minimum pour l'harmonique considérée.

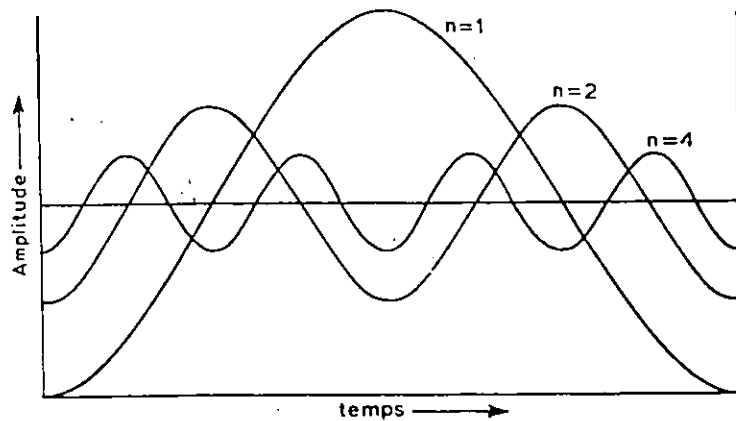


Figure 11: COURBES DES HARMONIQUES POUR N=1, 2 ET 4 (Barry and Perry, 1973).

Dans cette optique, nous avons procédé à l'analyse harmonique des températures horaires, pour la période du 18 juin au 20 août 1982. Nous avons utilisé un programme BMD04R. Ainsi nous obtenons pour chaque jour, l'amplitude et l'angle de phase pour neuf harmoniques. Bien qu'il y ait

un maximum possible de $n/2$ harmoniques, soit douze, le programme à notre disposition ne compile les résultats que pour neuf harmoniques au plus. Mais en calculant le pourcentage de la variance expliquée par chacune des harmoniques, il est clair que les 10ième, 11ième et 12ième harmoniques n'expliqueraient qu'une proportion négligeable de la variance totale.

Si nous comparons les courbes des températures journalières pour le 30 juin et le 2 juillet (voir figure 12); journées dont les moyennes sont identiques, 12°C , nous voyons que les deux régimes thermiques sont différents. La première présente une courbe du type plateau et la seconde du type sinusoidal. Par type sinusoidal, il est question d'une courbe à grande amplitude et par type en plateau, d'une courbe où l'amplitude est très peu marquée et dont le maximum semble se répercuter sur une assez longue période. Les courbes des harmoniques sont également différentes ce qui explique l'importance de l'analyse harmonique vis-à-vis les statistiques telles que la moyenne. Le lecteur remarquera la différence marquée entre les premières harmoniques de ces deux journées. Celle dont l'amplitude est la plus forte, montre une amplitude à la première harmonique, aussi élevée. Cette première harmonique représente la variation diurne de la température journalière avec un léger décalage par rapport à la position du soleil. Le maximum apparaît vers 15h00 et le minimum vers 3h00. Les

deuxièmes harmoniques représentent des courbes où la différence se remarque aisément. Par contre, la courbe des troisièmes harmoniques montrent un changement dans la position de l'amplitude la plus forte entre les deux journées, c'est-à-dire que nous retrouvons cette dernière du côté de la journée à plus faible amplitude thermique, soit le 30 juin. Ceci démontre que les fortes amplitudes sont expliquées par les premières harmoniques.

L'importance des harmoniques peut être déterminée à l'aide du pourcentage de la variance expliquée par chacune des harmoniques. Le tableau 2 nous donne cette information. A la troisième harmonique, nous avons pour les deux jours 96% de la variance totale d'expliquée. Nous pouvons alors nous en tenir aux courbes de ces trois premières harmoniques.

Dans la quasi totalité des cas, plus de 70% de la variance totale est expliquée par la première harmonique. Aussi nous pouvons dire que cette dernière nous est triviale, du fait que nous étudions la température journalière. Le caractère semi-journalier est évident. Nous ne tirons donc rien de nouveau de cette première harmonique. Nous pouvons également affirmer qu'en général, plus l'amplitude sera grande, plus le pourcentage total de la variance expliquée des deux ou trois premières harmoniques

TABLEAU 2

POURCENTAGE DE LA VARIANCE EXPLIQUÉE POUR CHACUNE DES
HARMONIQUES DU 30 JUIN ET DU 2 JUILLET 1982

Harmoniques	Pourcentage de Variance Expliquée	
	30 Juin	2 Juillet
1	87,31%	91,00%
2	1,62	5,60
3	7,13	0,38
4	0,04	0,38
5	0,44	1,34
6	0,34	0,20
7	0,31	0,03
8	0,28	0,02
9	0,24	0,07

aura de l'importance. Subséquemment, dans le cas où l'amplitude est faible, ce sera au niveau des dernières harmoniques que nous pourrons tenter d'expliquer ce caractère à plateau. Ceci explique la grande différence qui existe entre les courbes des 2e et 3e harmoniques des deux jours; celle du type sinusoidal (2-07) ayant un pouvoir explicatif plus grand à la 2e harmonique et celle du type plateau (30-06) ayant à son tour un pouvoir explicatif plus grand à la 3e harmonique.

La matrice de départ, composée des températures horaires a donc été transformée, par l'analyse harmonique en une matrice composée de trois paramètres que cette méthode donne comme résultats. Ces paramètres sont le pourcentage

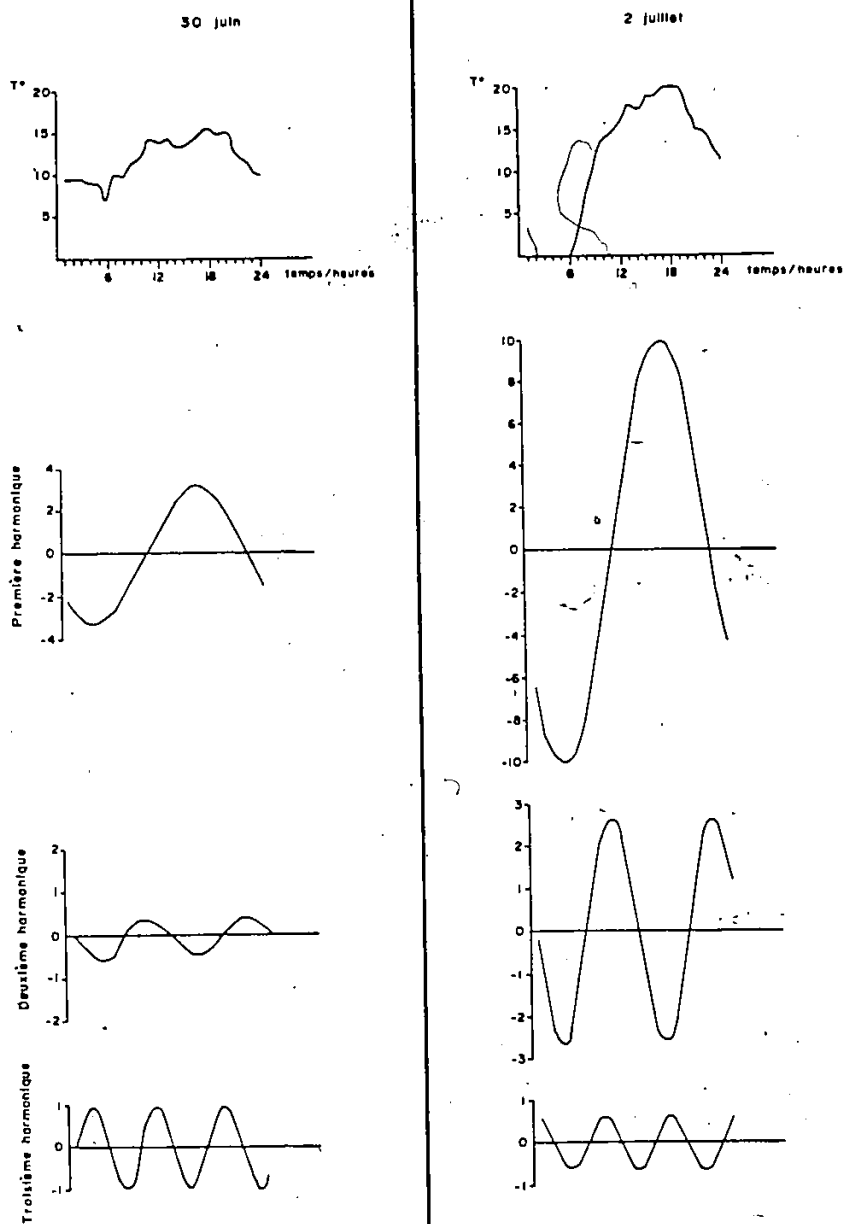


Figure 12: COURBES HARMONIQUES DES TEMPERATURES JOURNALIÈRES POUR LE 30 JUIN ET LE 2 JUILLET 1982.

de la variance expliquée (V), l'amplitude (A) et l'angle de phase (P) pour chacune des neuf harmoniques, à chaque jour. Un numéro est associé à chaque initiale (1 à 9), et se rapporte à l'harmonique en question. Soit une matrice 27x64. Le pourcentage de la variance expliquée est en fait un indice de l'importance de l'harmonique considérée dans sa contribution de la courbe réelle. L'écart entre le maximum et le minimum de la courbe est représenté par l'amplitude. L'angle de phase détermine l'heure à laquelle les maxima et minima auront lieu. En d'autres mots, il représente le nombre de degrés dont il faut déplacer les courbes vers la droite ou vers la gauche, changeant ainsi la position des pics et des creux.

Nous venons alors de caractériser les journées en termes de composantes thermiques. La comparaison des jours est maintenant possible et objective. A présent, les résultats devraient refléter la présence de régimes thermiques puisque les variables sont indépendantes de la moyenne.

CHAPITRE IV

RELATIONS ENTRE CIRCULATION ATMOSPHERIQUE ET REGIMES THERMIQUES

Il nous intéresse à présent de connaître le type de lien qui existe entre l'altitude et la surface. Nous avons notamment déterminé, à l'aide de la classification, quatre circulations atmosphériques. Il est convenu, a priori, qu'un lien existe entre ces deux niveaux, étant donné que le climat à l'échelle locale découle du climat régional. Par contre, le type de lien qui relie ces deux niveaux n'est pas connu et c'est ce que nous tenterons de déterminer dans la section qui suit.

4.1 L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Les méthodes de l'analyse discriminante peuvent être considérées comme une des techniques particulières de l'analyse multidimensionnelle qui est elle-même un des domaines les plus en expansion, et peut-être le plus prometteur, de la statistique. En effet, même si la fonction linéaire discriminante de Fisher, a été introduite en 1936, ce n'est guère que depuis environ 25 ans, grâce aux ordinateurs, que ces méthodes sont vraiment accessibles.

Les méthodes reposent essentiellement sur deux approches;

1. -soit l'approche bayésienne,
 2. -soit l'approche discriminante,
- (Romeder, 1973). Nous ne parlerons que de la deuxième approche ici.

Dans certaines méthodes d'analyse multidimensionnelle purement descriptive comme l'analyse en composantes principales, l'analyse factorielle des correspondances ou diverses méthodes de classification, on cherche à décrire les données et à mettre éventuellement en évidence certains groupements qui se dégagent naturellement des données.

En analyse discriminante par contre, on ne remet pas en question l'existence des groupes de départ mais on cherche à savoir si certaines variables, parmi celles dont on dispose, permettent de retrouver l'appartenance à ces groupes. En ce sens nous pouvons dire que la démarche, analyse discriminante, consiste à ajuster des données à un modèle. Cette méthode semble en fait être assez raffinée pour séparer des groupes dans lesquels est intervenue une part de hasard ou de subjectivité. Elle constitue un outil efficace pour caractériser par certaines variables, l'appartenance à un certain groupe (Romeder, 1973).

4.1.1 DEFINITION DE LA DISCRIMINATION

L'éventail de la littérature se rapportant à cette méthode grandit toujours mais peut cependant être utilisée à tort, surtout lorsque les processus de classification et de discrimination ne sont pas, dès le départ mis au clair. Il faut par conséquent distinguer ces deux processus qui sont reliés.

Selon King (1970) et Davis (1973), lorsqu'on fait référence à la discrimination, le problème est de trouver une combinaison linéaire de variables qui produit une différence maximum entre les groupes déjà définis. En revanche, la classification, basée sur les mesures des variables, veut diviser les observations en groupes homogènes et distincts l'un de l'autre.

En fait, la discrimination exige une classification a priori, donc un nombre de groupes prédéterminés, imposés à la méthode (King, 1970; Davis, 1973; Mather, 1976). De plus, chacune des observations appartiendra déjà à un de ces groupes dérivés de l'analyse plus ou moins subjective du dendrogramme (Dowdeswell, 1982). En ce qui a trait à la classification, tout le processus est interne, en ce sens où le résultat ne dépend aucunement d'une connaissance préalable des relations entre les cas. Telque proposé par Hill en 1966 (King, 1970), le terme "classification" sera utilisé en référence au problème statistique, tandis que le

terme "allocation", le sera en référence aux différents aspects de la discrimination.

Le problème général de la discrimination se résume selon Davis (1980), King (1970) et Romeder (1973), ainsi; Soit un ensemble d'individus répartis en plusieurs classes définies a priori et un ensemble de variables mesurées sur chacun des individus. Nous pouvons alors nous poser la question suivante: Est-il possible avec ces variables de différencier les classes considérées, de discriminer entre les classes définies a priori?

4.1.2 METRIQUE DE LA FONCTION LINEAIRE DISCRIMINANTE

Fisher a introduit en 1936 la fonction linéaire discriminante pour deux groupes comme étant la fonction linéaire des variables initiales, telle que le rapport du carré de la différence des moyennes (pour chacun des deux groupes) de cette fonction à la variance de cette fonction soit maximisé (King, 1970; Mather, 1976; Beguin, 1979). Cette fonction linéaire peut s'écrire de la façon suivante:

$$Y = \left(\sum_{v=1}^p a_v X_v \right) \quad \text{pour } p \text{ variables.}$$

Dans le cas de deux groupes, un seul axe discriminant est nécessaire pour séparer les groupes. Avec k groupes un

maximum de $(k-1)$ axes discriminants sont nécessaires, si $k-1 < p$, de p si non. Mais généralement peu de fonctions discriminantes sont nécessaires pour efficacement décrire les différences entre groupes (Beguin, 1979). On peut imaginer le premier de ces axes comme la droite qui sépare au mieux les deux groupes d'individus: celle qui minimise le risque d'erreur de classement (voir figure 13). Le second axe est orthogonal au premier et ainsi de suite. Dans le cas de plus de deux groupes, plusieurs fonctions discriminantes interviennent. Il est clair que la discrimination sera d'autant plus aisée que les classes seront éloignées les unes des autres et que les individus d'une même classe seront proches.

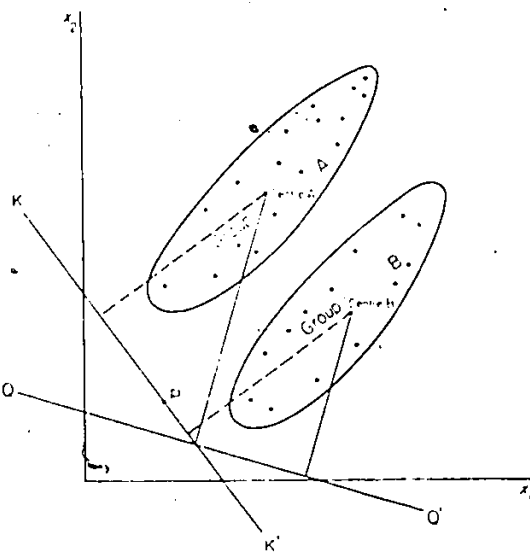


Figure 13: AXES DISCRIMINANTS (Mather, 1976).

Le problème consiste à définir une telle fonction de similitude pour un groupe donné, donc à partir des individus qui le constituent. De fait, on considère la distance entre l'individu à classer et l'ensemble des individus du groupe. On affectera donc un nouvel individu au groupe le plus proche pour cette distance (Romeder, 1973). Il nous faut à présent décider de la distance à utiliser. La distance euclidienne, à laquelle nous pourrions penser, revient à accorder un même poids à chacune des variables. Or, chacune des variables mesurées sur l'ensemble des individus, renseigne plus ou moins sur l'appartenance des individus à la classe considérée. Le D^2 de Mahalanobis, distance considérée en analyse discriminante n'accorde pas le même poids à chacune des variables, puisqu'il réduit le poids des variables porteuses d'information excédentaire déjà donnée par d'autres variables (Beguin, 1979). Cette distance généralisée permet de situer plusieurs populations dans un espace à n dimensions, n étant le nombre de variables, et de déterminer dans quelle mesure elles peuvent être distinguées les unes des autres (Lefebvre, 1983). Comme il nous intéresse justement de connaître l'importance de chacune des variables mesurées, cette dernière est utilisée, et prend la forme suivante:

$$D_{ij}^2 = \sum_{p=1}^n \sum_{q=1}^n s^{pq} (\bar{x}_{p_i} - \bar{x}_{p_j}) (\bar{x}_{q_i} - \bar{x}_{q_j})$$

où s^{pq} = éléments de la matrice inverse de la matrice de dispersion

n = variable (1, ..., p, q, ..., n)

4.2 UTILISATIONS DE L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Kendall (1966) écrit qu'il y a trois problèmes fondamentaux auxquels se rattache la fonction linéaire discriminante. Il y a d'abord le cas de données manquantes comme en archéologie par exemple. La seconde situation est celle du diagnostique. On retrouve celle-ci en médecine où il est nécessaire de se baser sur certains symptômes observés pour finalement en arriver à une décision. Finalement, le problème de la prédiction peut être approché par la discrimination de certaines conditions avant même qu'elles n'arrivent. Dans notre cas, connaissant, suite à l'analyse discriminante, le lien qui existe entre les deux niveaux considérés, il nous sera dans une certaine mesure possible de prédire, en présence de telle circulation atmosphérique quel régime thermique résultera en surface.

D'autre part, l'analyse discriminante peut également servir dans l'évaluation statistique des groupements prédéterminés (Johnston, 1978 in Dowdeswell, 1982). Ainsi, plus le nombre d'itérations sera grand pour atteindre une

classification de 100% de classifications correctes, moins stable sera la classification.

4.3 PROCEDURE

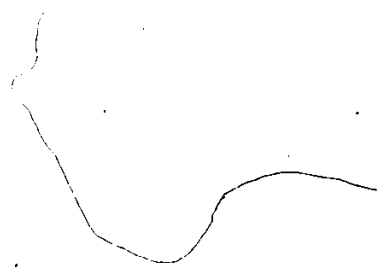
Nous avons donc procédé à l'analyse discriminante avec des groupes a priori, déterminés par une classification centroïde. Les variables utilisées sont les résultats de l'analyse harmonique des températures horaires. Ces 27 variables sont normalement distribuées. Par conséquent, nous avons cherché quelles variables discriminaient le mieux les groupes et par le fait même, quel genre de lien liait le niveau régional au niveau local.

Le programme ordinateur utilisé provient de la série BMDP. C'est donc le programme de discrimination BMDP7M qui suit une méthode de pas à pas (stepwise). La technique du pas à pas consiste à se restreindre successivement à la meilleure, puis aux deux meilleures, trois meilleures, ..., variables parmi les variables mesurées, pour le problème considéré. Ceci revient à dire qu'à chaque pas, la variable qui sépare le mieux les groupes est ajoutée (ou sépare le moins est enlevée) à la fonction discriminante. Ainsi, on cherchera successivement le sous-ensemble de variables assurant la meilleure discrimination, en adjoignant, à

chaque pas, une variable supplémentaire au sous-ensemble retenu au pas précédent. Le critère de pas à pas utilisé dans ce programme est le D^2 de Mahalanobis.

Mais mentionnons à cette étape le risque d'erreur d'une mauvaise allocation. Cette probabilité d'allocations incorrectes est un problème de la discrimination. Mais dans le cas où la probabilité d'appartenance d'un individu à un groupe A, B, C, ou D, n'est pas équiprobable, c'est-à-dire qu'un groupe est plus fréquent que d'autres dans la même population, la probabilité d'une classification incorrecte est réduite. La probabilité des membres du groupe le moins fréquent à être incorrectement itérés, est augmentée mais en revanche celle des membres du groupe de plus haute fréquence est diminuée. L'ambiguïté se fait voir pour l'allocation des points frontières (Romeder, 1973).

Ceci nous mène à parler du pourcentage de classifications correctes. Il est tout à fait naturel de se demander dans quelle mesure les individus des différents groupes (après itération) se retrouvent bien dans les classes correspondantes. En fait nous obtenons pour chaque groupe, puis pour l'ensemble des groupes le pourcentage de cas correctement itérés, qui comme nous le verrons s'avère très utile.



4.4 RESULTATS DE L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Les résultats obtenus suite à l'analyse discriminante sont multiples. Nous obtenons d'abord toute une série de statistiques telles la moyenne des variables au sein des groupes, l'écart type, le coefficient de variation, la matrice des corrélations et la matrice des co-variances.

Comme nous l'avons déjà mentionné, le programme utilisé suit une méthode de pas à pas ou par étapes. L'étape 0 est une étape où aucune des variables n'entre dans la fonction discriminante. La variable avec le critère F d'inclusion (F-to-enter) le plus élevé à cette étape est repérée. Cette variable est celle qui discrimine le mieux entre les groupes. Dans le cas présent, la variable A1, amplitude de la première harmonique, discrimine le mieux entre les groupes, et est utilisée dans la fonction discriminante.

4.4.1 LES ETAPES

Au pas 1, avec une variable en moins, soit A1, le poids de chacune des variables est redistribué et de nouveau la variable avec le critère F d'inclusion le plus élevé, P4, entre dans la fonction discriminante. Le tout est recommencé jusqu'à ce que les variables les plus importantes parmi l'ensemble, soit déterminées et qu'on obtienne une

discrimination convenable entre les groupes. Au pas 2, P2, entre dans la fonction et finalement, aux étapes 3 et 4, les variables P4 et V2 sont prises en considération. Les descripteurs au pouvoir le plus élevé sont au nombre de quatre; A1, P4, P2, V2.

Il faut ici mentionner que la technique ou l'option du pas à pas doit être utilisée consciencieusement comme d'ailleurs tout calcul par étapes (Laforge, 1981). En effet, la sélection des descripteurs successivement les plus discriminants, ne garantit nullement qu'il n'y ait pas un autre ensemble de discriminateurs plus discriminants. Ainsi, il est possible que des variables déjà entrées perdent leur pouvoir de discrimination. A ce moment, le poids qu'exerce cette variable est désormais inclus dans une combinaison de nouvelles variables retenues. Si tel aurait été le cas, dans notre analyse ces variables seraient sous le critère F d'exclusion (F-to-remove).

4.4.2 COMPORTEMENT DES GROUPES

L'allocation d'un cas observé à un certain groupe plutôt qu'à un autre se fait, en l'occurrence à partir des quatre variables ci-haut mentionnées. Ayant été a priori associés à un groupe, certains jours ont été réassignés sur la base des variables considérées dans la fonction

discriminante, faisant en sorte que la proportion de classifications correctes, n'atteigne pas 100% (voir tableau 3). En fait, au total nous n'avons obtenu qu'un peu plus de la moitié, soit 53.1%. Par ordre d'importance, le groupe C compte 81.8% d'allocations correctes, le groupe A en compte 57.1% et les groupes B et D, 45.0% et 42.1% respectivement. Nous pouvons déjà affirmer que le groupe C, qui correspond à une circulation atmosphérique de type sec et chaud, est le plus prédictible de l'ensemble.

TABLEAU 3
POURCENTAGE DE CLASSIFICATIONS CORRECTES APRES
DISCRIMINATION DES GROUPE A, B, C, D.

Groupe	%Correct	Nombre de cas par groupe			
		A	B	C	D
A	57,1	8	1	4	1
B	45,0	4	9	2	5
C	81,8	0	2	9	0
D	42,1	1	5	5	8
Total	53,1	13	17	20	14

Nous pouvons aussi noter vers quels autres groupes les cas incorrectement itérés auraient tendance à se classer, d'abord avec ce tableau sommaire (tab. 2), puis cas par cas, avec le tableau 4, qui lui est plus détaillé. Au groupe A avaient été assignés quatorze jours, desquels seulement huit

devraient être en A. Les autres tendent vers C (4) et vers B et D. Des vingt observations préassignées au groupe B, neuf seulement ont été correctement itérées. On ne trouve pas une tendance générale, puisque les autres cas pourraient aussi bien se trouver en A qu'en D et même en C. Concernant le groupe le moins bien défini, le groupe D, les observations pourraient se retrouver tant en B qu'en C et qu'en D. En revanche, pour le groupe C, deux jours seulement se seraient classés dans un autre groupe, soit B.

4.4.3 FONCTIONS DISCRIMINANTES

Pour faire suite aux allocations des observations à leur nouveau groupe, le programme que nous avons utilisé produit les valeurs propres des fonctions discriminantes ainsi que la corrélation canonique et les coefficients des variables canoniques, nécessaires à l'interprétation.

Les valeurs propres λ déterminent l'importance de chaque fonction discriminante dans l'explication des différences intergroupe. Dans cette optique, la première fonction discriminante expliquera plus les différences que l'on retrouve entre les groupes que la deuxième, celle-ci ayant un pouvoir explicatif plus fort que le troisième. Nous avons obtenu $(k-1)$ axes discriminants, soit 3 en tout. Ces axes discriminants peuvent être comparés aux facteurs de

TABLEAU 4

D^2 DE MAHALANOBIS ET PROBABILITE A POSTERIORI POUR
CHACUN DES GROUPES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A,
B, C ET D

Cas	Groupes			
	A	B	C	D
1	5,7 0,960	12,4 0,034	17,3 0,003	17,1 0,003
3	9,6 0,028	4,0 0,452	7,3 0,086	4,1 0,433
4	6,4 0,075	3,0 0,417	2,9 0,438	6,6 0,070
5	4,9 0,077	3,4 0,162	1,0 0,548	2,9 0,213
6	4,3 0,332	5,1 0,220	4,2 0,339	6,5 0,109
22	4,7 0,136	3,8 0,217	4,5 0,153	2,1 0,494
49	7,3 0,537	10,7 0,102	15,5 0,009	8,2 0,352
50	1,0 0,830	5,0 0,111	7,9 0,027	7,5 0,032
54	2,2 0,839	6,5 0,097	10,2 0,015	7,9 0,049
63	2,3 0,238	2,7 0,192	0,9 0,474	4,1 0,096
64	1,4 0,405	2,1 0,279	2,4 0,252	5,1 0,063
46	5,5 0,728	7,6 0,250	16,2 0,003	12,8 0,019
47	3,2 0,928	8,9 0,054	13,8 0,005	11,6 0,014
48	3,7 0,927	9,6 0,048	14,7 0,004	11,3 0,021

Groupe B				
18	2,1 0,196	1,5 0,274	1,6 0,264	1,5 0,266
24	1,1 0,435	2,5 0,217	3,3 0,141	2,6 0,207
25	9,6 0,029	3,5 0,605	5,9 0,177	5,8 0,189
26	4,9 0,095	3,8 0,162	2,5 0,311	1,9 0,432
29	5,2 0,103	2,1 0,468	5,3 0,096	2,8 0,334
30	10,4 0,322	9,7 0,455	16,3 0,017	11,3 0,206
32	9,1 0,117	5,4 0,754	9,6 0,092	11,4 0,036
33	4,8 0,128	4,8 0,130	1,8 0,574	4,3 0,168
35	1,1 0,489	2,5 0,234	2,7 0,221	5,4 0,056
36	5,9 0,063	3,2 0,250	2,9 0,282	2,2 0,405
51	7,0 0,060	2,5 0,573	7,4 0,049	3,6 0,318
53	8,7 0,063	3,8 0,752	7,8 0,100	8,1 0,085
55	2,4 0,207	2,5 0,194	3,7 0,108	0,7 0,492
56	1,9 0,819	5,3 0,150	10,4 0,012	9,6 0,018
57	12,2 0,020	7,2 0,243	5,1 0,710	11,7 0,026
61	3,7 0,250	1,8 0,627	6,6 0,058	6,4 0,065
62	6,8 0,048	3,6 0,237	8,0 0,027	1,5 0,688
44	1,7 0,531	2,6 0,338	5,3 0,087	6,7 0,044
45	2,9 0,299	3,5 0,219	3,9 0,174	2,8 0,308
31	5,7 0,163	2,9 0,670	9,6 0,023	5,9 0,143

Groupe C				
7	3,6 0,099	2,4 0,184	0,1 0,583	3,1 0,133
8	2,5 0,140	1,4 0,236	0,3 0,406	1,6 0,218
9	4,9 0,058	3,0 0,155	0,3 0,589	2,5 0,198

10	2,6 0,307	4,2 0,136	1,9 0,433	4,4 0,123
34	5,1 0,063	3,5 0,142	0,3 0,689	4,0 0,107
39	9,7 0,020	3,6 0,415	4,4 0,281	4,4 0,284
40	10,4 0,011	6,9 0,064	1,7 0,885	7,9 0,039
41	7,0 0,031	4,8 0,096	0,5 0,809	5,6 0,064
42	3,6 0,139	1,3 0,454	1,9 0,328	4,8 0,079
43	3,3 0,166	2,7 0,222	1,7 0,369	2,5 0,244
58	5,7 0,067	4,8 0,104	0,8 0,781	6,4 0,048

Groupe D

2	6,4 0,070	3,8 0,263	8,4 0,026	2,0 0,641
11	18,7 0,005	14,5 0,041	17,9 0,007	8,2 0,947
12	1,5 0,320	1,0 0,408	4,1 0,085	2,6 0,187
13	6,0 0,193	5,0 0,310	9,2 0,037	4,2 0,460
14	3,6 0,153	1,9 0,351	3,7 0,148	1,9 0,349
15	5,4 0,063	3,9 0,132	0,6 0,703	4,5 0,102
16	6,9 0,077	3,1 0,506	7,4 0,059	3,8 0,358
19	6,2 0,039	4,0 0,122	0,5 0,707	3,8 0,131
20	6,7 0,065	5,7 0,105	5,8 0,102	1,8 0,727
21	0,7 0,396	1,7 0,239	2,4 0,172	2,2 0,193
23	9,7 0,070	10,6 0,046	12,0 0,023	4,7 0,861
27	9,6 0,203	11,4 0,083	10,7 0,116	7,4 0,598
28	6,0 0,112	2,4 0,685	8,4 0,034	5,1 0,170
37	11,2 0,013	7,1 0,104	3,7 0,569	4,9 0,314
38	3,4 0,111	2,5 0,174	0,2 0,540	2,5 0,175
52	4,3 0,243	2,5 0,599	9,4 0,020	5,5 0,138
59	5,7 0,071	4,9 0,103	1,4 0,612	3,5 0,214
60	28,0 0,003	25,1 0,012	30,3 0,001	16,3 0,984
17	11,2 0,027	8,1 0,128	10,6 0,038	4,4 0,807

l'analyse factorielle excepté qu'on connaît le pourcentage expliqué par chacune des fonctions discriminantes.

D'après notre tableau 5, la première fonction discriminante, D est celle qui permet la discrimination la plus importante entre les groupes car la corrélation canonique correspondante est la plus élevée. Les fonctions subséquentes ont un rôle de moins en moins grand. Laforge (1981) se base sur cette caractéristique des fonctions

discriminantes pour n'en garder que les deux ou trois premières. La corrélation canonique a pour but de trouver la corrélation maximale entre des combinaisons linéaires des fonctions discriminantes (Legendre et Legendre, 1979).

TABLEAU 5
VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES

Valeurs Propres (λ)	0,462	0,350	0,143
Corrélations Canoniques	0,562	0,509	0,353
Variables	Coefficients des Variables Canoniques		
3 V2	-0,074	-0,062	0,060
11 A1	-0,177	0,154	0,004
21 P2	0,336	-0,106	0,564
23 P4	0,445	0,200	0,010
Constantes	-0,018	-1,689	-2,546

A l'aide des coefficients des variables canoniques, issues des variables qui sont entrées des les fonctions discriminantes, nous avons la possibilité d'établir la forme que prendront ces fonctions discriminantes. Ces dernières proviennent de la relation;

$$D_i = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + C$$

D_i = ième fonction discriminante

X_n = coefficient de la nième variable canonique

C = constante établie pour cette fonction.

discriminante

CHAPITRE V
INTERPRETATION DES RESULTATS

5.1 LES FONCTIONS DISCRIMINANTES

Une fois les fonctions discriminantes décidées nous devons définir leur signification. Ceci peut se faire,

a) en étudiant la position des cas et des centroïdes,

b) en étudiant la relation qui existe entre les variables et les fonctions,

(Klecka, 1980). Ayant déterminé trois fonctions, celles-ci définissent un espace tri-dimensionnel dans lequel les types de temps peuvent être retrouvés. La première fonction correspond à un nombre réel x , l'abscisse et de manière analogue, sont associés aux deuxième et troisième fonctions les nombres réels y et z , respectivement appelés l'ordonnée et la cote. Avec deux fonctions discriminantes, nous pouvons aisément établir la localisation des centroïdes et des cas. Bien que nous soyons devant un modèle à trois dimensions, une représentation à deux dimensions sera quand même suffisante, surtout si nous considérons les deux

premières fonctions comme les plus importantes. La figure 14 montre cette répartition des groupes.

5.1.1 POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES

Le lecteur verra à la figure 14 que les groupes ne sont pas très distincts les uns des autres mais qu'il y a souvent débordement d'un groupe sur l'autre. On remarque que les cas en B tendent vers A, ceux de D vers B, le groupe A s'éloigne des trois autres et le groupe C est le moins disparate, c'est-à-dire que les cas de ce groupe sont proches de leur centroïde. Ceci vérifie en fait le pourcentage de classifications correctes dont nous avons parlé au chapitre 4. Les deux groupes les moins bien classés, B et D sont ceux dont les cas sont les plus éloignés de leur centroïde, avec le groupe A un peu mieux classé et dont les cas s'éloignent de leur centroïde tout en ne débordant pas autant sur d'autres groupes.

5.1.2 RELATION VARIABLE/FONCTIONS

Dans le but de déterminer la similarité ou la relation qui existe entre une seule variable et une fonction discriminante, nous pouvons étudier la corrélation entre les deux (Klecka, 1980). Ce coefficient de corrélation nous indique à quel point une variable et la fonction sont reliés. Ainsi, lorsque la corrélation est forte, la

fonction porte presque la même information que la variable. Quand le coefficient s'approche de zéro, la relation est de plus en plus faible. Nous pouvons par conséquent nommer une fonction en nous basant sur les variables les plus importantes, celles avec les coefficients les plus élevés.

Nous avons donc établi qu'il y a dans notre modèle, trois fonctions discriminantes qui s'expriment selon la formule (x) comme suit:

$$D_n = a X_1 + b X_2 + c X_3 + d X_4 + \text{cte}$$

soit;

$$D_1 = -0.074 X_1 + 0.177 X_2 + 0.336 X_3 + 0.445 X_4 - 0.018$$

$$D_2 = -0.062 X_1 + 0.154 X_2 - 0.106 X_3 + 0.200 X_4 - 1.689$$

$$D_3 = 0.062 X_1 + 0.004 X_2 + 0.564 X_3 + 0.010 X_4 - 2.546$$

De ceci, nous constatons que pour les deux premières fonctions discriminantes, c'est la variable P4, l'angle de phase de la quatrième harmonique qui a le plus de poids, sa valeur étant la plus élevée des quatre variables retenues. C'est également l'angle de phase qui l'emporte sur l'ensemble des variables du troisième facteur, mais cette fois c'est celui de la deuxième harmonique, P2.

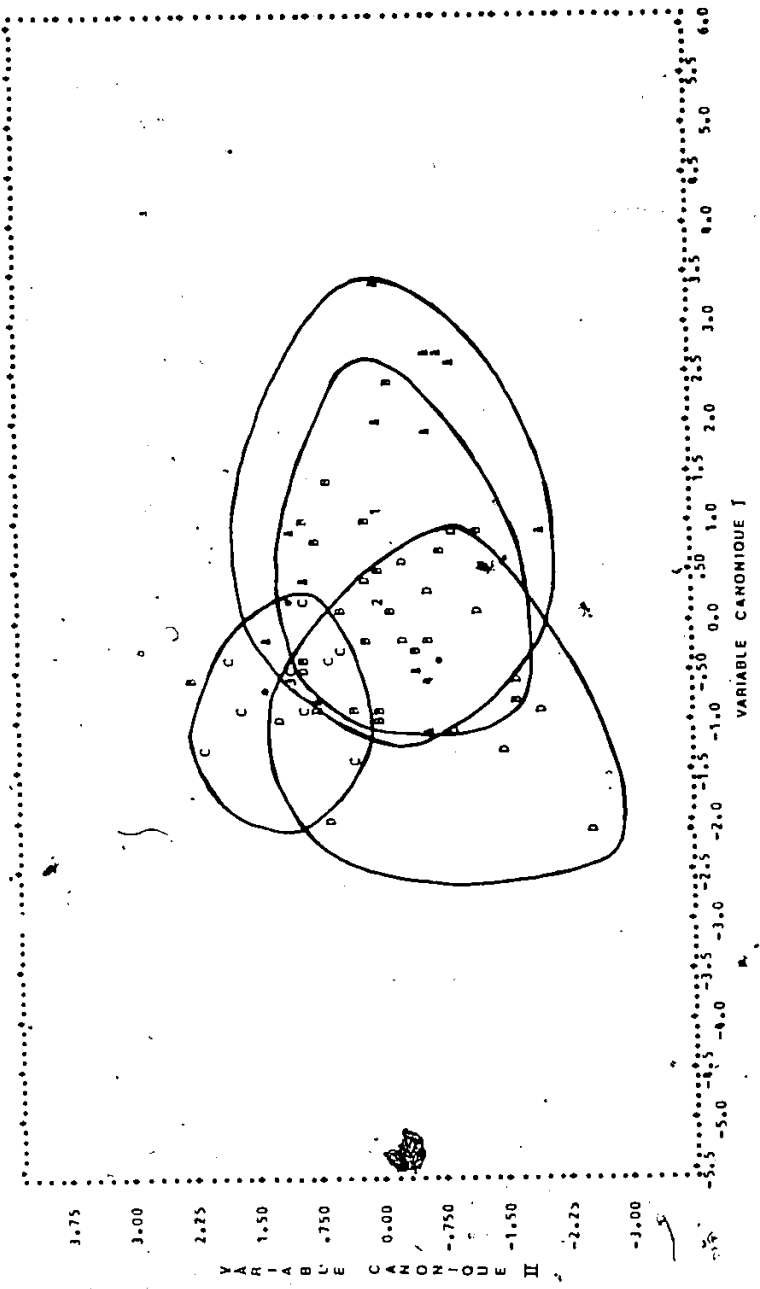


Figure 14: POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, C, D.

En ce qui concerne les trois fonctions de cette étude, il semble que nous ne puissions pas vraiment nous baser sur la variable avec la corrélation la plus forte, puisque celles-ci sont entre 0,44 et 0,0, sauf pour la troisième fonction qui est de 0,60. Ces corrélations ne sont pas assez fortes et donc pour nommer une fonction il nous faut considérer plus d'une variable discriminante. La première fonction représente donc l'angle de phase puisque les valeurs des deux variables d'angle de phase sont rapprochées mais aucune des deux n'est à elle seule assez importante pour définir la fonction. La dernière peut être expliquée surtout par P2, qui a un coefficient relativement élevé. Cette variable étant issue de la deuxième harmonique, cette fonction peut représenter, la deuxième harmonique et son importance dans notre système.

Suite à l'identification des facteurs que nous venons de faire, nous étudierons la signification de chacune des variables discriminantes. Ces variables, responsables de la distinction des groupes, par ordre d'entrée dans la fonction discriminante sont; A1, V2, P2 et P4.

Comme mentionné au chapitre 2, la première harmonique nous est triviale au point de vue information et il semble que ce soit la deuxième harmonique qui soit la plus informative, étant donné que la variance expliquée de la seconde harmonique ait été retenue comme variable

discriminante. En fait, la variance qui ne résulte pas de l'effet journalier, donc qui n'est pas compté dans la première harmonique, est ici comprise dans la tendance semi-journalière, tendance représentée par deux maxima et deux minima à intervalle de douze heures environ, soit dans la 2ième harmonique.

La seconde variable, V_2 , représente le pourcentage de la variance expliquée par la deuxième harmonique. Celle-ci se calcule de la façon suivante:

$1 - \frac{\text{résidus}}{\text{ob} - \text{pr}}$

ob = valeur observée

pr = valeur prédite.

Bien qu'il y ait une prédominance de certaines harmoniques, la complexité de la plupart des courbes de températures exige qu'on utilise le nombre maximum possible d'harmoniques afin de complètement d'écrire la courbe observée.

Au second tour, la deuxième variable à entrer dans la fonction discriminante, soit A_1 , représente l'amplitude de la première harmonique et malgré le peu d'explication que l'on peut en tirer, c'est que l'amplitude joue un rôle

important au niveau du régime thermique en soi. En ce sens, une journée de faible amplitude n'agira pas de la même manière qu'une journée de forte amplitude.

P2, l'angle de phase de la seconde harmonique suit ces deux premières variables. De plus l'angle de phase de la quatrième harmonique (P4), incluse dans la fonction discriminante, montre bien que ce n'est pas uniquement les premières harmoniques qui comptent mais que le système nécessite plusieurs harmoniques.

5.2 LES TYPES DE TEMPS

Par l'entremise de l'analyse discriminante, nous concluons que le groupe C est le mieux déterminé des quatre groupes. Ceci veut dire que ce groupe est le plus homogène de l'ensemble et par extension, vu le haut pourcentage de classifications correctes; de la connaissance du régime thermique nous pouvons à 82%, inférer la situation en altitude. Au point de vue du regroupement synoptique, nous avons caractérisé ce groupe en question d'anticyclonique et en observant les paramètres de l'analyse harmonique, pour les journées de ce groupe, nous notons quelques traits intéressants. Il faut avant tout mentionner qu'au niveau des moyennes de chacune des variables pour chacun des groupes, le groupe C est marqué par une amplitude élevée à

la première harmonique, soit un A1 de 18,23. Cette valeur est nettement au-dessus de la moyenne, chose peu surprenante. Si l'on considère que le type de circulation de ce groupe C est surtout anticyclonique, une forte amplitude est anticipée. Une haute pression apporte généralement un couvert nuageux faible, même inexistant. Ceci implique par conséquent une quantité d'énergie relativement importante au cours de la journée et une perte d'énergie de la surface vers l'atmosphère la nuit. Ceci se traduit par une augmentation de la température le jour et une baisse considérable la nuit, d'où la forte amplitude.

De la même façon que nous nous attendons à une forte amplitude pour un groupe tel que C, nous pouvons nous attendre à un faible pourcentage de la variance expliquée à la deuxième harmonique. Cette affirmation est vérifiée avec 2,71%. Comme il a déjà été mentionné, il est normal d'avoir un grand pourcentage de la variance expliquée dans les premières harmoniques avec une forte amplitude. Etant en présence d'un V1 de 94,16% et ayant encore 5,84% distribué sur les huit autres harmoniques, V2 compte un faible pourcentage de la variance totale expliquée, par rapport à la première harmonique.

5.2.1 A, B ET D MOINS BIENS DEFINIS

Les groupes A, B et D sont nettement moins bien déterminés. Ceci se voit par le pourcentage de classifications correctes dans chaque groupe ainsi qu'au niveau de la représentation graphique tel qu'il en a été discuté précédemment. Nous pouvons tout de même tenter l'explication de ces trois groupes. Toujours au niveau des moyennes de groupe pour chacune des variables, nous pouvons faire deux séparations nettes entre ces groupes (tab. 6).

Bien que ces trois groupes se ressemblent fortement, on note quand même quelques différences importantes. Il semble d'abord qu'A et B soient les plus semblables. On remarque ceci par le pourcentage de classifications correctes et le graphique. De plus, les deux groupes ont des valeurs moyennes des variables qui font que la ressemblance se fait sur P2 et P4, les valeurs étant plus faibles chez le groupe B. Malgré cette ressemblance nous pouvons définir le type de régime thermique qui résulte des deux types de circulation atmosphérique. La courbe réelle des températures étant la somme de chacune des $n/2$ harmoniques, la quatrième harmonique agit comme tampon sur la deuxième harmonique, dans notre cas. En d'autres termes, plus les derniers angles de phase seront élevés, moins l'amplitude des premières auront de l'importance et plus la courbe sera

aplatie, tendant vers une courbe de type plateau. C'est en fait ce que nous remarquons dans la figure 12, où pour la journée du type plateau la troisième harmonique est plus forte que la journée de type sinus. Ainsi, nous pouvons dire que le groupe A avec son type synoptique a comme régime thermique un type plateau tandis que du type de circulation atmosphérique B résulte un régime thermique dont le minimum et le maximum sont relativement plus marqués qu'en A. La différence est très faible, mais se remarque au niveau de l'amplitude de la première harmonique, avec 10,85 pour le groupe B et 10,41 pour le groupe A.

Variables	Groupes			Tous les Groupes
	A	B	D	
P4	3,80	3,10	1,88	2,85
V2	3,89	3,91	9,92	6,06
P2	4,58	3,02	3,66	3,66
A1	10,41	10,85	10,91	10,76

A son tour, le groupe D ressort avec V2, le pourcentage de la variance expliquée par la deuxième harmonique qui est le plus élevé de l'ensemble des groupes et nettement

supérieur à la moyenne et avec P4 qui lui est très faible. Le fait que V2 soit forte, peut être dû à la faible variance expliquée à la première harmonique. Etant donné que dans le cas des fortes amplitudes des premières harmoniques on compte généralement un pourcentage de variance expliquée totale élevée dans ces premières harmoniques, nous pouvons nous attendre à des valeurs élevées pour les deux ou trois premières harmoniques, pour ainsi compenser puisque la première est faible. La seconde variable qui marque le groupe D est l'angle de phase de la 4ième harmonique, P4, avec une très faible valeur, soit 1,88. Celle-ci étant faible, son effet de tampon sur les harmoniques précédentes est réduit et on peut par conséquent anticiper une différence relativement plus marquée entre les minima et les maxima que dans le groupe B. Il apparaît donc que le groupe A soit du type plateau, que le groupe D soit plus du type sinusoidal et que B soit en fait un type de transition entre les deux.

5.3 SANS LE GROUPE C

Voyant la dispersion entre les trois, A, B et D, nous avons cru nécessaire de refaire une analyse discriminante en omettant les jours dont le type de circulation atmosphérique est anticyclonique, soit en omettant le groupe C. Celui-ci étant bien individualisé, a beaucoup de poids dans le modèle

et peut masquer l'importance ou le rôle des autres groupes. Les résultats de cette nouvelle analyse sont intéressants et se remarquent au niveau du pourcentage des classifications correctes et de la représentation graphique de la localisation des trois groupes (voir tableau 7).

Groupe	% Correct	Nombre de cas par groupe		
		A	B	D
A	71,4	10	2	2
B	50,0	4	10	6
D	68,4	1	5	13
Total	62,3	15	17	21

Le pourcentage de classifications correctes totales est passé à 62,3% comparativement à 53,1% pour l'analyse discriminante des quatre groupes. Le pourcentage du groupe A est passé de 57,1% à 71,4%, celui de B de 45,0% à 50,0% et celui de D, de 42,1% à 68,4%. Nous remarquons immédiatement que l'omission du groupe C affecte principalement le groupe D. Celui-ci varie de 26% et donc ressort mieux que dans l'analyse précédente. Le groupe A se voit également

amélioré. Par contre, le groupe B reste quasi inchangé. On peut alors supposer que les cas en B auraient dû être classés soit en A, soit en D. La figure 15 montre la position des cas de chacun des groupes. La position relative de B entre A et D encourage ces hypothèses. D'après les statistiques comme le D^2 de Mahalanobis et la probabilité à posteriori des groupes (tableau 8), il semblerait en fait que les cas du groupe B auraient pu être classés en A.

Autre fait important, les variables discriminantes retenues dans la fonction sont identiques, mais n'entrent pas dans le même ordre et n'ont pas les mêmes valeurs. De plus, nous n'obtenons avec cette discrimination que deux axes canoniques. Le tableau 9 donne les valeurs correspondantes et nous remarquons que la première fonction est représentée par l'angle de phase de la quatrième harmonique (P4) tandis que la seconde est représentée par l'angle de phase de la deuxième harmonique (P2). Nous pouvons tenter d'expliquer l'importance de ces deux variables par la similarité de base qui existe entre les trois groupes considérés, ceux-ci étant cycloniques. Ce qui semble faire la différence est l'amplitude des groupes. Nous avons déjà mentionné que les premières harmoniques ressortent quand l'amplitude, thermique dans notre cas, est forte et lorsque celle-ci est faible, ce sont les harmoniques suivantes qui ressortent.

TABLEAU 8

D² DE MAHALANOBIS ET PROBABILITE A POSTERIORI POUR
CHACUN DES GROUPES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A,
B, ET D

Jours	GROUPES		
	A	B	D
Groupe A			
1	5,0 0,949	11,1 0,045	15,1 0,006
3	8,8 0,038	3,7 0,049	8,8 0,470
4	5,8 0,148	2,7 0,703	5,8 0,147
5	4,3 0,192	3,1 0,358	2,6 0,451
6	3,8 0,499	4,7 0,325	5,9 0,176
18	4,1 0,017	3,3 0,267	1,8 0,557
34	6,5 0,527	9,6 0,117	7,3 0,356
35	0,9 0,824	4,6 0,130	6,7 0,046
39	1,9 0,819	5,9 0,114	7,0 0,067
52	2,0 0,445	2,5 0,354	3,6 0,200
53	1,3 0,529	2,0 0,368	4,5 0,103
56	4,8 0,693	6,6 0,277	11,1 0,030
57	2,9 0,910	8,1 0,068	10,3 0,022
58	3,3 0,909	8,7 0,061	10,1 0,030
Groupe B			
13	1,9 0,272	1,3 0,365	1,3 0,363†
20	0,9 0,491	2,2 0,256	2,3 0,363
21	8,9 0,042	3,2 0,704	5,3 0,254
22	4,2 0,164	3,4 0,252	1,7 0,583
25	4,7 0,121	1,9 0,500	2,5 0,378
26	8,9 0,328	8,3 0,453	9,7 0,219
27	8,2 0,141	4,7 0,802	10,0 0,057
28	4,2 0,311	4,3 0,300	3,7 0,389
29	1,0 0,607	2,3 0,303	4,8 0,090
30	5,2 0,102	2,7 0,354	1,9 0,545
36	6,5 0,071	2,3 0,583	3,3 0,346
38	8,0 0,080	3,4 0,801	7,2 0,119
40	2,1 0,249	2,2 0,230	0,6 0,520
41	1,7 0,798	4,7 0,173	8,3 0,029
42	11,0 0,084	6,5 0,801	10,4 0,115
50	3,3 0,267	1,6 0,643	5,5 0,091
51	6,1 0,062	3,2 0,271	1,4 0,667
54	1,5 0,563	2,3 0,373	5,8 0,065
55	2,5 0,361	3,1 0,268	2,4 0,372
60	5,3 0,170	2,6 0,657	5,3 0,173
Groupe D			
2	5,9 0,084	3,4 0,290	1,9 0,625
7	16,1 0,009	12,2 0,065	6,9 0,926
8	1,4 0,341	0,9 0,433	2,2 0,226
9	5,4 0,204	4,5 0,326	3,7 0,470

10	3,2 0,187	1,7 0,403	1,6 0,410
11	4,8 0,229	3,6 0,429	4,0 0,342
12	6,4 0,090	2,9 0,522	3,5 0,388
14	5,5 0,153	3,6 0,410	3,4 0,436
15	5,8 0,094	5,0 0,142	1,6 0,764
16	0,6 0,466	1,6 0,289	1,9 0,246
19	8,3 0,104	9,1 0,067	4,1 0,829
23	8,2 0,277	10,0 0,113	6,7 0,610
24	5,6 0,123	2,2 0,677	4,6 0,201
32	9,8 0,042	6,1 0,266	4,2 0,692
33	3,0 0,256	2,3 0,370	2,2 0,375
37	4,0 0,245	2,3 0,589	4,8 0,166
43	4,9 0,205	4,4 0,273	3,1 0,522
49	23,8 0,006	21,3 0,023	13,8 0,971
59	9,6 0,042	6,8 0,169	3,7 0,789

Nous pouvons tenter d'expliquer les cas incorrectement regroupés et par le fait même, le comportement du groupe B, par des cas où au point de vue réponse dans la vallée les journées sont semblables, c'est-à-dire que les paramètres de l'analyse harmonique se ressemblent, mais où au point de vue de la situation atmosphérique sont différentes, c'est-à-dire de classes différentes. A titre d'exemple, nous avons le cas d'un type synoptique du S-E centré sur la Californie et un autre de type zonal. Tous deux sont classés différemment en ce qui a trait au type synoptique, mais le résultat dans la vallée, crée des journées aux régimes thermiques fort semblables. Ceci expliquerait le cas des classifications incorrectes.

5.4 SUCCESSION DES GROUPES

Dans le but de mieux saisir à quel type de temps correspondent chacun des groupes, il est bon de visualiser le comportement de ceux-ci, dans un espace temporel. Parce que l'analyse discriminante nécessite une classification a priori et qu'à ces classes sont assignées les nouvelles variables, la classification de base ne change pas. C'est-à-dire que le regroupement des soixante quatre jours reste tel quel. Nous pouvons alors de nouveau considérer la figure 9. Le but de l'analyse discriminante était ici de nous renseigner sur la qualité des groupements et non pas de refaire une classification. Néanmoins, nous constatons une certaine particularité dans les successions. Nous remarquons entre autre que le groupe B assume une position intermédiaire par rapport aux autres groupes, faisant le pont entre le passage de jours du groupe A au groupe D, et du groupe C anticyclonique à un groupe cyclonique, soit A, soit D.

Nous avons mentionné précédemment la cause des classifications incorrectes nombreuses du groupe B comme étant simplement dû au fait que B ne devrait pas exister et qu'au lieu d'avoir quatre groupes A, B, C et D, nous aurions trois groupes A, C et D. Le groupe B étant le plus

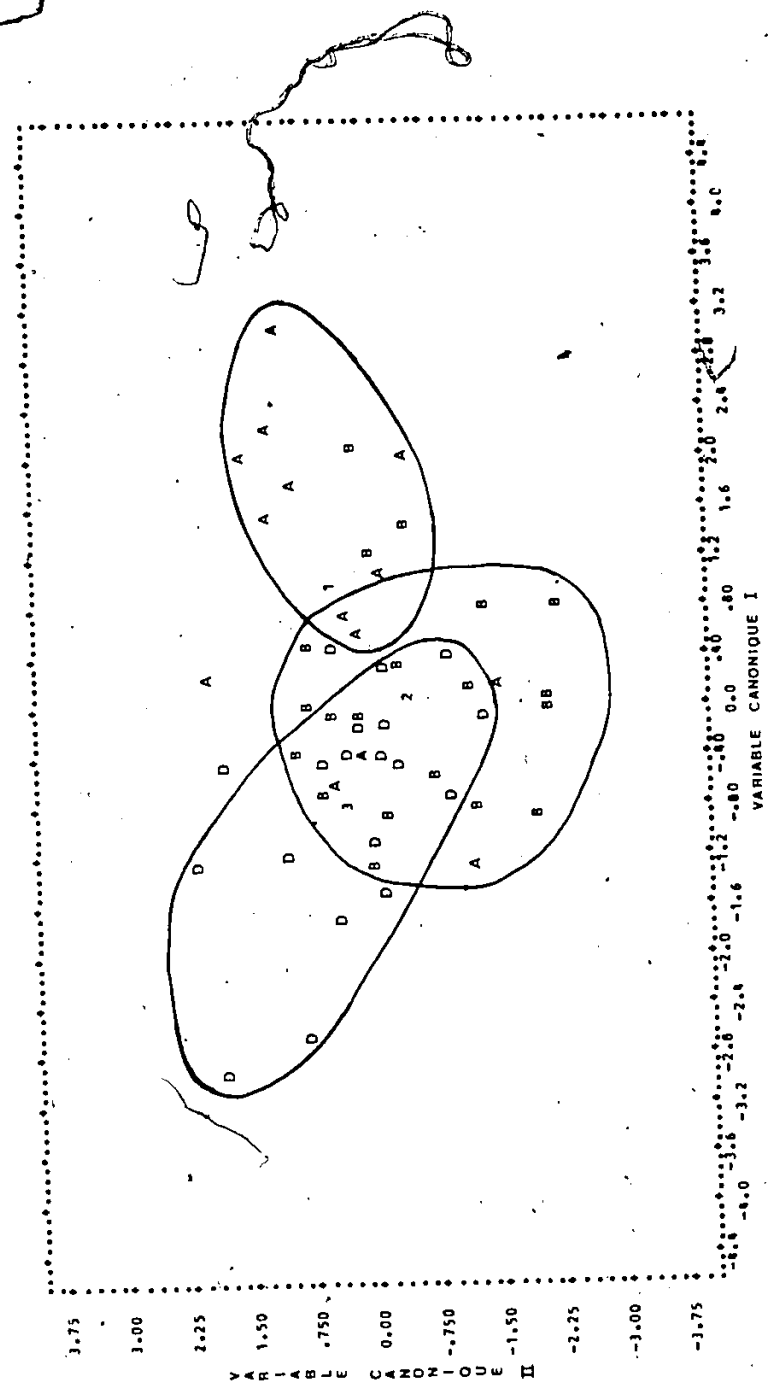


Figure 15: POSITION DES CAS ET DES CENTROIDES APRES DISCRIMINATION DES GROUPES A, B, D.

TABLEAU 9

VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES

Valeurs Propres (λ)	0,465	0,174
Corrélations Canoniques	-0,563	0,385
Variables	Coefficients des variables canoniques	
V2	-0,079	0,067
A1	-0,104	-0,073
P2	0,296	0,564
P4	0,461	-0,022
Constante	-0,794	-1,621

semblable de A, ce dernier compterait les observations préclassées en B. Cette idée est renforcée quand nous observons qu'en remplaçant les cas de B par A, plusieurs des petites successions de A disparaissent pour ne former que quelques suites plus importantes. Le passage d'un type de temps à l'autre est d'autant plus aisé de cette manière.

Une nouvelle analyse discriminante sans le groupe C et avec un groupe A qui inclut le groupe B, donne des résultats intéressants. En fait, comme l'indique le tableau 10, le pourcentage de classifications correctes total passe à 79,2%, dont 79,4% en (A+B) et 78,9% en D. Nous pouvons par conséquent inclure les cas du groupe B au sein du groupe A et ne garder que trois types de temps au lieu de quatre comme suggéré au départ.

TABLEAU 10
 POURCENTAGE DE CLASSIFICATIONS CORRECTES APRES
 DISCRIMINATION DES GROUPES (A+B) ET D.

Groupe	% Correct	Nombre de cas par groupe	
		(A+B)	D
(A+B)	79,4	27	7
D	78,9	4	15
Total	79,2	31	22

Une chose très intéressante se produit au niveau des variables entrées dans la discrimination. Nous obtenons pour cette analyse discriminante une fonction dans laquelle cinq variables sont retenues; soit les variables P4, V2, V5, V7 et P6. A l'aide du tableau 11 nous remarquons d'abord que les premières harmoniques ne sont plus touchées sauf la variance de la deuxième harmonique où la variance (V2) ressort avec une forte valeur (9,92) pour le groupe D. Si les variables issues des dernières harmoniques sont si importantes, nous pouvons en conclure que les deux groupes sont des groupes aux courbes réelles de température qui tendent plus vers le type en plateau que vers le type sinusoidal. Bien que la différence entre les deux soit très faible, le groupe D est tout de même celui dont l'amplitude thermique moyenne est la plus forte.

TABLEAU 11
 MOYENNE DE GROUPE POUR CHACUNE DES VARIABLES
 DISCRIMINANTES

Variables	Groupes		Tous les groupes
	(A+B)	D	
V2	3,90	9,92	6,06
V5	0,93	0,94	0,93
V7	0,51	1,04	0,70
P4	3,39	1,88	2,85
P6	2,61	2,92	2,72

La procédure ici utilisée montre que les deux groupes sont bien discriminés, mais restent quand même très voisins. La corrélation canonique est bonne (tab. 12), la constante est faible et le pourcentage de classification correcte est élevé. Par contre ce sont des variables correspondant aux dernières harmoniques qui ressortent et nous pouvons affirmer que cela est causé par des subtilités qui créent la différence entre les groupes. Par subtilités, nous entendons variations de petite envergure. Par les écarts-types des distances intra et inter-groupe exprimés au tableau 13, la similitude des groupes se montre assez évidente. Notons que la distance intra-groupe de D est assez forte comparativement à celle de (A+B). La figure 16 montre les courbes thermiques réelles pour deux journées typiques, c'est-à-dire avec un D intra faible, ainsi qu'une journée dite extrême au sein des groupes. Cette dernière aurait donc un D intra élevé. L'allure des courbes, pour

les deux groupes varie dans le même sens. De plus, l'amplitude est aussi très semblable, et le groupe (A+B) ne semble se différencier que par des augmentations et diminutions de température plus fréquentes au cours de la journée, d'où l'importance de la variable angle de phase de la quatrième harmonique (P4). Ce qui finalement distingue le groupe D du groupe (A+B), est tout simplement la température plus élevée. Nous pouvons donc conclure que nous sommes en présence de deux types de circulation atmosphérique cyclonique, avec (A+B) le plus frais et le plus nuancé des deux.

TABLEAU 12

VALEURS DES FONCTIONS DISCRIMINANTES

Valeurs Propres	0,62
Corrélation Canonique	0,62
Variables	Coefficients Canoniques
V2	-0,11
V5	0,71
V7	-0,54
P4	0,42
P6	-0,20
Constante	-0,32

TABLEAU 13

ECART TYPE DES DISTANCES INTRA ET INTER-GROUPE DE LA DISCRIMINATION DES GROUPES (A+B) ET D.

	(A+B)	D
(A+B)	2,34	4,19
D	10,12	7,86

La façon dont se présentent les successions de type de temps peut dépendre de l'état de la masse d'air sur la région considérée. Si la masse d'air arrive ou bien qu'elle soit tout à fait présente ou encore qu'elle soit passée, son influence sur le climat local ne sera pas la même. Si nous sommes en présence d'une basse pression et qu'une autre basse pression suit, l'impact de la nouvelle masse d'air ne sera pas le même que si c'était un anticyclone qui s'annonçait. Il y a également la topographie qui peut influencer la réponse climatique au sein de la vallée. Dans le cas du passage d'une dépression, il en résulte un lien assez indirect. Par contre, dans le cas d'une haute pression l'influence de la vallée se fait sentir. Elle peut changer ou estomper la portée du niveau synoptique. Le lien entre le synoptique et le niveau local est beaucoup moins direct qu'avec la haute pression, ce qui peut également expliquer les classifications incorrectes.

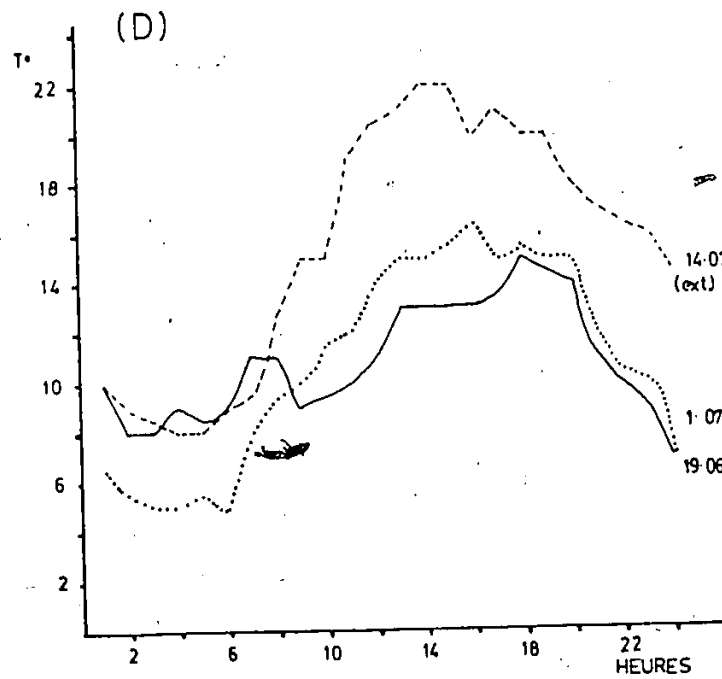
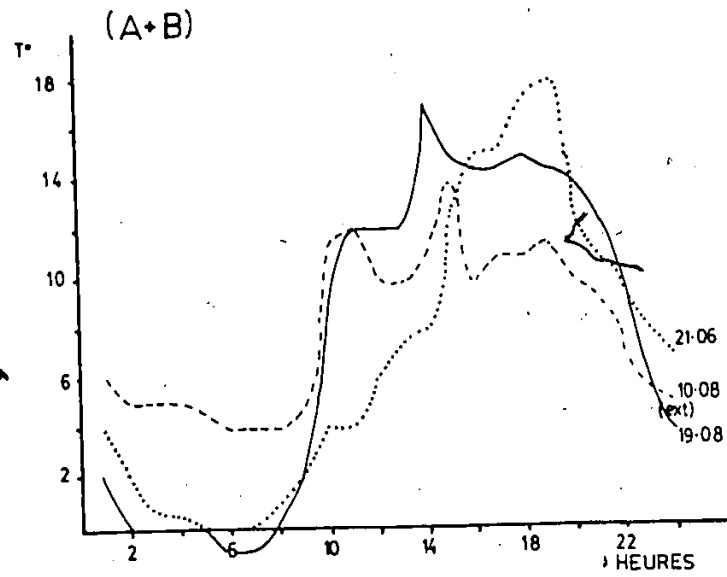


Figure 16: COURBES REELLES DES JOURNEES REPRESENTATIVES DES GROUPES (A+B) ET D.

5.5 CONCLUSION

En conclusion, l'analyse discriminante nous a été très utile dans la détermination des types de temps qui ont dominés durant la période du 18 juin au 20 août 1982. Ces types de temps telque nous les avons définis dans la section 1.4 s'appuient sur des éléments climatiques combinés. Nous avons obtenus trois types de temps responsables de trois régimes thermiques.

Nous avons d'abord un type anticyclonique relativement chaud marqué par un régime thermique où l'amplitude est importante, mais qui malheureusement n'apparaît pas fréquemment. Vient ensuite deux types cycloniques dont l'extension sur le climat local diffère. Dans un premier temps, le temps dépressionnaire a comme réponse dans la vallée un régime thermique dont l'amplitude est la plus faible et qui se produit principalement vers le 20 juin et dans la première semaine d'août. Ces deux périodes correspondent à un temps froid et pluvieux. Le second type de temps cyclonique provoque un régime thermique avec une amplitude plus élevée, mais où les températures restent relativement fraîches. Celui-ci plus favorable, agit de sorte que le climat dans la vallée est caractérisé par une

courbe de température sinusoidale, soit avec un maximum et un minimum plus marqués que le type cyclonique précédent.

CHAPITRE VI

CONCLUSION

Au terme de cette étude, nous pouvons mieux saisir les liens pouvant exister entre la circulation atmosphérique et le climat local d'une vallée.

Pour atteindre nos objectifs, nous avons procédé à plusieurs analyses statistiques. Le travail s'effectue à deux échellés, ou niveaux d'étude; un niveau régional et un niveau local. Une analyse de groupement a permis de définir quatre types de circulation atmosphérique; I de transition, II cyclonique froid et humide, III anticyclonique et IV cyclonique plus sec et chaud que II. Afin d'éliminer le poids de la moyenne et de pouvoir comparer des journées appartenant à des saisons différentes, nous avons transformé les variables thermiques en paramètres indépendants par l'analyse harmonique. L'analyse discriminante a servi à tester le genre de lien qui existe entre les deux niveaux considérés, pour finalement distinguer trois types de temps, pour le sud-ouest du Yukon, au cours de la période du 18 juin au 20 août 1982.

Vu que l'analyse discriminante exige un nombre prédéterminé de groupes, et qu'elle n'effectue aucune modification dans la classification, nous obtenons le même nombre de groupes après discrimination, soit quatre. Le groupe C, anticyclonique, s'individualise parfaitement alors que les trois autres sont voisins. Après étude des résultats, tel le D de Mahalanobis, il apparaît que le groupe B doit être regroupé avec un des deux autres groupes soit A, soit D. Nous avons choisi de regrouper B avec A, car cela entraîne une meilleure discrimination avec le groupe D. Nous gardons donc trois types de temps, au lieu des quatre proposés a priori par la classification.

De ces trois types de temps, deux sont cycloniques et l'autre anticyclonique. Le type anticyclonique relativement stable, qui apparaît à la fin juin (24 au 28) et à la fin juillet avec un maximum moyen de $25,9^{\circ}\text{C}$ et un minimum moyen de $6,9^{\circ}\text{C}$ se caractérise aussi par une augmentation d'épaisseur de la couche de 1000 à 500 mb. Des deux séquences de haute pression la deuxième est relativement plus chaude, ce qui rejoint d'ailleurs les types 3 et 4 dans Lagarec et Geurts (1984), causés par le réchauffement de l'air au contact du continent et formant ainsi un anticyclone chaud. L'air prend son origine du NW au SW, soit de l'air en provenance de l'Alaska et du Nord du Yukon, selon le cas. Quant à l'effet que ce type de circulation atmosphérique a sur la vallée, il en résulte un régime

thermique dont l'amplitude est la plus élevée des trois types. Tel que mentionné dans Geurts et al. (1983) et Lagarec et Geurts (1984), c'est par temps anticyclonique que le climat de la vallée a sa meilleure expression. On sait également que les microclimats sont plus apparents par temps clair et sec, avec une turbulence plus forte, et par conséquent un climat propre à la vallée.

TABLEAU 14

COMPARAISON ENTRE LA NOMENCLATURE DES TYPES DE TEMPS EMPLOYÉE PAR LAGAREC ET GEURTS (1984) ET L'AUTEUR

Type de Circulation Atmosphérique	Type de Temps Lagarec et Geurts	Types de Temps L'Auteur	
1	}	}	
2			1
3			3 et 4
4			2
		A+B	
		C	
		D	

* voir figure 17 pour exemples des types de temps de Lagarec et Geurts (1984).

Les deux types de temps à dominance cyclonique se différencient par la durée des séquences et la température. Le premier, constitué des groupes synoptiques I et II, apparaît durant la majorité du mois de juin, puis du 9 au 23-07 pour revenir du 30-07 au 17-08. Ce premier type causé par des dépressions venant du Golfe d'Alaska coïncide avec

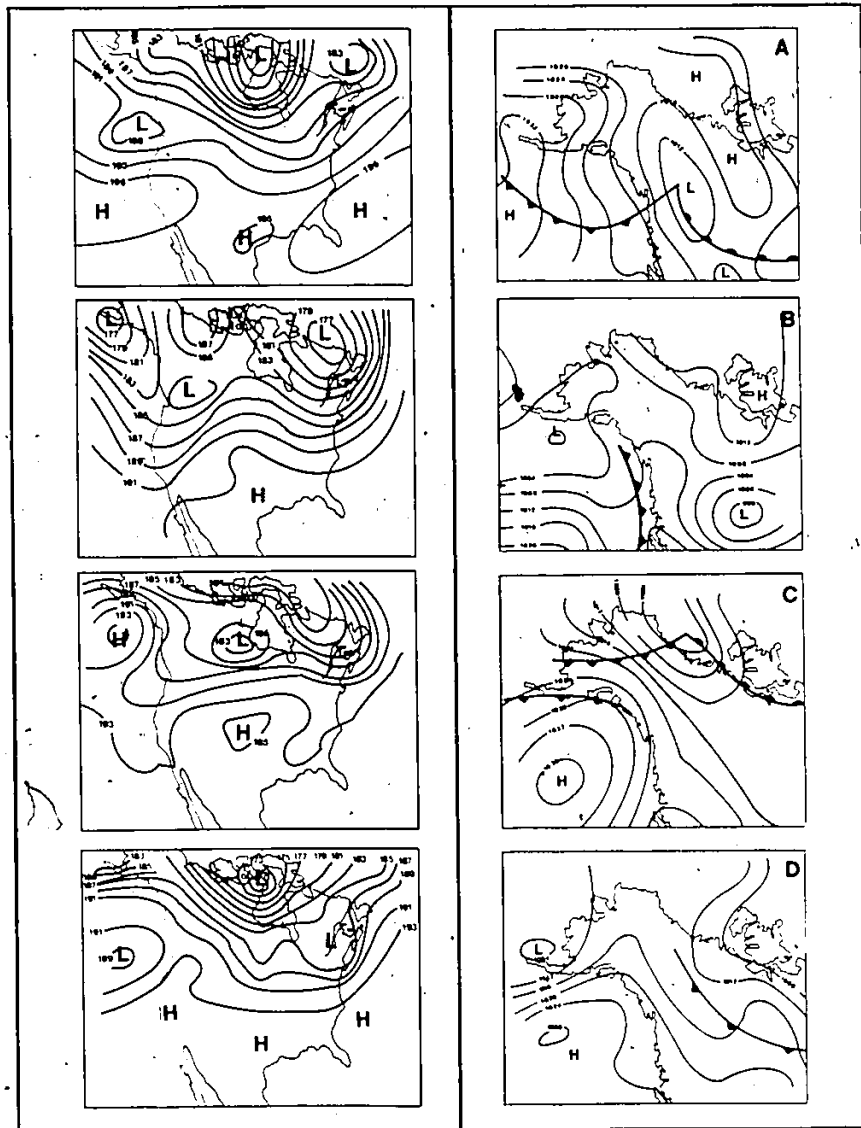


Figure 17: SITUATIONS DES TYPES DE TEMPS TELQUE DEFINIS PAR LAGAREC ET GEURTS (1984)

le passage du front Arctique, fin juin et début d'août (Lagarec et Geurts, 1984). Du point de vue réponse dans la vallée, ce type de temps dépressionnaire se caractérise par une faible amplitude thermique et des températures relativement basses, soit un maximum moyen de $16,7^{\circ}\text{C}$ et un minimum moyen de $3,6^{\circ}\text{C}$. Le temps est couvert et les précipitations sont abondantes et continues. Le second type dépressionnaire est relativement plus sec et chaud que le précédent (maximum moyen de $18,6^{\circ}\text{C}$ et minimum moyen de $6,0^{\circ}\text{C}$) et compte aussi des jours de pluie. Une dominance de flux du SE au SW, s'accompagne généralement des situations de blocage le long de la côte Ouest. Nous pouvons de plus affirmer que dans ces deux derniers cas, l'effet de la vallée sur son climat est très atténué; une uniformité thermique existe au sein de la vallée et dans la région (Lagarec et Geurts, à paraître; Geurts et al., 1983).

Nous avons vérifié notre hypothèse de départ; en présence d'un type de temps anticyclonique, un climat de vallée est favorisé, alors que par temps cyclonique, la vallée ne se différencie pas du reste de la région.

Dans un contexte paléoclimatique, nous pouvons envisager qu'une augmentation de la fréquence d'apparition du type anticyclonique n'agirait qu'en faveur de l'ablation tandis qu'une augmentation des types cycloniques auraient

relativement moins d'effet. sur l'ablation que le premier cas.

Etant donné les données sur lesquelles se base cette étude, nous ne pouvons tirer que des conclusions générales. Nous réussissons tout de même à démontrer l'efficacité des méthodes utilisées dans l'étude de l'influence de la circulation atmosphérique sur le régime thermique d'une vallée. Là réside l'originalité de cette thèse.

BIBLIOGRAPHIE

- ~~BARRY, R.G.~~ and CHORLEY, R.J., 1968, Atmosphere Weather and Climate, Methuen, London, 432 p.
- BARRY, R.G. and PERRY, A.H., 1973, Synoptic Climatology, Methods and Applications, Methuen & Co Ltd, 555 p.
- BARRY, R.G., 1981, Mountain Weather and Climate, Methuen, New York, 313 p.
- BEGUIN, H., 1979, Méthodes d'Analyse Géographique Quantitative, Litec, Paris, 252 p.
- BOSTOCK, H.S., 1948, Physiography of the Canadian Cordillera, with special Reference to the Area North of the Fifty Fith Parallel, Geological Survey of Canada, Memoir 247, Ottawa, 106 p.
- _____, 1952, Geology of Northwest Shawkak Valley, Yukon Territory, Geological Survey of Canada, Memoir 267, Ottawa, 54 p.
- BRADLEY, R.S. and ENGLAND, J., 1979, "Synoptic Climatology of the Canadian High Arctic" dans: Geografiska Annaler, 61A (3-4), p. 187-201.
- CHARRE, J. et DUMOLARD, P., 1973, "Essai de Classification Synthétique des Climats de Turquie" dans: Méditerranée, no. 3, p. 51-65.
- CRITCHFIELD, H.J., 1983, General Climatology, Prentice Hall, New Jersey, 4e édition, 453 p.
- DAVIS, J.C., 1973, "Statistics and Data Analysis" dans: Geology, John Wiley and Sons, Inc, New York, 550 p.
- DURAND-DASTES, F., 1969, Geographie des Airs, Paris, 254 p.
- DOWDESWELL, J.A., 1982, "Relative Dating of Late Quaternary Deposits Using Cluster and Discriminant Analysis, Audubon Cirque, Mt. Audubon, Colorado Front Range" dans: Boreas, vol. 11, p. 151-161.
- ESTIENNE, P. et GODARD, A., 1970, Climatologie, Armand Colin, collection U, Paris, 365 p.

- GEURTS, M.-A. LAGAREC, D., SARAZIN, F. et LEMAITRE, S., 1983, Pluie Pollinique de l'Eté 1982 dans la Vallée du Gladstone Creek (Yukon), Notes de Recherches du Département de Géographie de l'Université d'Ottawa, no. 39, 39 p.
- HARE, F.K. and THOMAS, M.K., 1974, Climate Canada, Wiley Publishers of Canada Limited, Toronto, 256 p.
- HUFTY, A., 1971, "Les Types de Temps dans le Québec Méridional; Méthode Pédagogique de description des Climats" dans: Cahier de Géographie de Québec, Presse de l'université Laval, Québec, 15e année, no. 34, p. 29-52.
- _____, 1976, "Situations Synoptiques et Analyses Multivariées des Temps à Québec" dans: Cahier de Géographie de Québec, vol. 20, no. 49, p. 69-92.
- _____, 1982, "Analyse en Composantes Principales des Situations Synoptiques au Québec" dans: Géographie Physique et Quaternaire, vol. XXXVI, no. 3, p. 307-314.
- HORN, L.H. and BRYSON, R., 1960, "Harmonic Analysis on the Annual March of Precipitation over the United States" dans: Annals, Association of American Geographers, vol. 50, no. 2, p. 157-171.
- JOHNSTON, R.J., 1968, "Choice in Classification: The Subjectivity of Objective Methods" dans: Annals, Association of American Geographers, 58, p. 575-589.
- _____, 1970, "Grouping and Regionalizing; Some Methodological and Technical Observations" dans: Proceeding of the International Geographical Union Commission on Quantitative Methods, Economic Geography, vol 46, p. 293-305.
- KENDAL, H M., 1966, "Discrimination and Classification" dans: Multivariate Analysis, Edited by R.R. Krishnaiah, New-York, Academic Press, p. 165-185.
- KENDREW, W.G. and KERR, D., 1955, The Climate of British Columbia and the Yukon Territory, Queens Printer, Ottawa, 222 p.
- KING, L.J., 1970, "Discriminant Analysis: A Review of Recent Theoretical Contributions and Applications" dans: Economic Geography, Clark University, Massachusetts, vol. 46, p. 367-378.
- KLECKA, W.R., 1980, "Discriminant Analysis", Sage University Paper on Quantitative Applications in the Social Sciences, Sage Publications, series no. 07-019, California, 71 p.

- LAFORGE, H., 1981, Analyse Multivariée pour les Sciences Sociales et Biologiques avec Applications des Logicielles BMD, BMDP, SPSS, SAS, Editions Etudes Vivantes, Montréal, 309 p.
- LAGAREC, D. et GEURTS, M.-A., 1984, Les Caractéristiques de la Pluie Pollinique dans la Vallée du Gladstone Creek, Chaîne Ruby, Territoire du Yukon, Notes de Recherches du Département de Géographie de l'Université d'Ottawa, 33 pp..
- LANCE, G.N. and WILLIAMS, W.T., 1966, "A Generalized Sorting Strategy for Computer Classifications" dans: Nature, vol. 212, 218 p.
- LEFEBVRE, J., 1983, Introduction aux Analyses Statistiques Multidimensionnelles, Masson, Paris, 275 p.
- LEGENBRE, L et LEGENDRE, P., 1979, Ecologie Numérique La Structure des données Ecologiques, Masson et Cie, Collection Ecologie, tome 2, no. 13, 254 p.
- LOCKWOOD, J.G., 1979, Causes of Climate, Edward Arnold, London, 260 p.
- MARCHAND, B., 1972, "L'Usage des Statistiques en Géographie" dans: L'Espace Géographique, no. 2, p. 79-100.
- MARCUS, M.G., 1974, "Investigation in Alpine Climatology: The St-Elias Mountains, 1963-1971" dans: Icefield Ranges Research Project, Scientific Results, V.C. Bushnell and M.G. Marcus (eds), New York, American Geography Society and Montreal Arctic Institut of North America; vol. 4, p. 13-26.
- MATHER, P.M., 1976, Computational Methods of Multivariate Analysis in Physical Geography, John Wiley and Sons eds, Toronto, 352 p.
- MULLER, J.E., 1967, Kluane Lake Map-Area, Yukon Territory, Geological Survey of Canada, Memoir 340, Ottawa, 137 p.
- PAGNEY, P., 1973, "La Climatologie" dans: Que sais-je?, Presse Universitaires de France, Paris, no. 171, 127 p.
- PARKS, J.M., 1966, "Cluster Analysis Applied to Multivariate Geological Problems" dans: Journal of Geology, 74, p. 703-715.
- PEDELABORDE, P., 1970, Introduction à l'Etude Scientifique du Climat, Société d'Édition d'Enseignement Supérieur, Paris, 246 p.

- REIFSNYDER, W.E., 1980, Weathering the Wilderness : The Sierra Club Guide to Practical Meteorology, Sierra Club Books, San Francisco, 276 p.
- REITER, E.R., 1963 Jet Stream Meteorology, The University of Chicago Press; Chicago, 515 p. (traduit de l'Allemand)
- REX, D. F., 1951, "Blocking Action in the Middle Troposphere and its Effects upon Regional Climate; I. An Aerological Study of Blocking Action"; dans Tellus, Stockholm, p. 196-211.
- ROMEDER, J.M., 1973, Méthodes et Programmes d'Analyse Discriminante, Dunod, Paris, 274 p.
- SABBAGH, M.E. and BRYSON, R., 1962, "Aspects of the Precipitation Climatology of Canada Investigated by the Method of Harmonic Analysis" dans: Annals, Association of American Geographers, vol. 54, no. 4, p. 426-440
- SNEATH, P.H.A. and SOKAL, R.R., 1973, Numerical Taxonomy and the Principals of Numerical Classification, W.H. Freeman, San Francisco, 573 p.
- TAYLOR-BARGE, M., 1969, The Summer Climate of the St-Elias Mountain Region, Arctic Institute of North America, Montreal, Research Paper 53, 267 p.
- TILL, R., 1974, Statistical Methods for the Earth Scientist, An Introduction, John Wiley and Sons, Toronto, 154 p.
- U. S. Geological Survey, 1970, The National Atlas of the United States of America, Arch C. Gerlach (ed), Washington, xiii edition, 417 p.
- Departement of Energy Mines and Resources, 1974, The National Atlas of Canada, Gerald Fremlin (ed), Ottawa, 4th edition.