

Marie-Françoise de SAINTIGNON *

VARIATIONS SPATIO-TEMPORELLES DES PRÉCIPITATIONS D'HIVER ET D'ÉTÉ
DANS LA RÉGION COUVERTE PAR LA COUPURE STRASBOURG
DE LA CARTE CLIMATIQUE DÉTAILLÉE DE LA FRANCE



8105-6 D RM



RÉSUMÉ

L'étude porte sur une trentaine de séries de précipitations cumulées d'hiver (décembre-janvier-février) et d'été (juin-juillet-août) pour la période 1951-1976. Il a été procédé à des analyses factorielles en composantes principales qui permettent de différencier les évolutions des trois zones climatiques de la coupure (plateau lorrain, Vosges, Alsace).

SUMMARY

In this study, some thirty series of accumulated rainfalls during each winter (december-january-february) and during each summer (june-july-august) have been analysed for the 1951-1976 period. Through principal components factor analysis we can differentiate the evolution of the three climatic areas (Lorraine, Vosges, Alsace) on the sheet STRASBOURG of the Detailed Climatic Map of France (1/250 000e).

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden ungefähr dreissig sich summierende Winterniederschlagsreihen (Dezember-Januar-Februar) und Sommerniederschlagsreihen (Juni-Juli-August) für den Zeitraum 1951-1976 untersucht. Die Methode der faktoriellen Analysen in Hauptkomponenten wurde angewandt, und man konnte so die Entwicklung der drei Klimazonen im Osten Frankreichs (Lothringische Hochebene, Vogesen, Elsass) verfolgen.

Cette étude (1) s'insère dans la réalisation de la coupure STRASBOURG de la Carte Climatique Détaillée de la France, et plus spécialement dans la recherche des séries pluviométriques statistiquement homogènes sur la période 1951-1978 permettant la mise au point des schémas stationnels.

La recherche des séries statistiquement homogènes nécessite un long travail de tests faits à partir de la méthode de cumul des résidus (MARTIN et de SAINTIGNON 1971) dont les résultats doivent être interprétés avec beaucoup de précautions (VIVIAN et MARTIN 1978). A l'expérience, il était apparu nécessaire de faire précéder ces tests par une analyse factorielle en composantes principales sur les hauteurs d'eau annuelles afin de dégager des unités spatiales à peu près homogènes (2).

Dans le cas de la coupure STRASBOURG, trois ensembles homogènes de postes pluviométriques ont pu être dégagés à partir d'une telle analyse, mais l'interprétation des courbes de cumul de quelques stations lorraines ayant posé quelques problèmes, nous avons été amenés à affiner notre analyse, et à travailler à l'échelle des saisons. Dans un premier temps, une nouvelle analyse en composantes principales portant sur le total des précipitations d'hiver, d'une part, d'été d'autre part, et sur la partie lorraine de la coupure a permis de prendre une décision sur les cas litigieux. Dans un deuxième temps, il a paru intéressant d'étendre l'analyse à l'ensemble du réseau de la coupure en ne gardant que les séries considérées comme homogènes pour avoir une image de la variation spatio-temporelle des précipitations d'hiver et d'été au cours de la période concernée.

La mise en oeuvre de la coupure STRASBOURG de la Carte climatique Détaillée de la France est réalisée en collaboration avec l'Institut de Géographie de Strasbourg et plus particulièrement Patrice PAUL qui, dans le cadre de cette étude, a apporté conseils et aide tant pour la collecte des données que pour leur correction et le comblement des lacunes. L'essentiel des données mensuelles de précipitations collectées par la Météorologie Nationale nous a été fourni par l'Agence de Bassin Rhin-Meuse d'une part, Messieurs BRISSE et GRANDJOUAN, Ingénieurs C.N.R.S., d'autre part. Les renseignements concernant l'emplacement des postes, leur historique, la qualité des mesures nous ont été fournis par les organismes déjà cités d'une part, par les Services de la Météorologie Nationale (Bureau Climatologique de la région Nord-Est à Entzheim, station principale de Nancy), d'autre part.

- (1) Étude réalisée en 1979 avec le concours de S. MARTIN (E.R. 30)
- (2) Carte Climatique Détaillée de la France, Coupure LYON, Éditions Ophrys, Gap. 1979.

* C.N.R.S., Équipe de Recherche n° 30, Biologie Végétale. BP 53 - 38041 - Grenoble Cédex (France).

I - COLLECTE ET CONTROLE DE L'INFORMATION

Sur la coupure STRASBOURG, 33 postes de mesure des précipitations présentent des séries complètes ou peu lacunaires sur la période 1951-1976. Si l'on désire utiliser des séries continues plus longues, le nombre de postes diminue très rapidement en raison de l'interruption de la dernière guerre ; à titre d'exemple, le nombre de séries 1947-1976 n'est que de 13. Dans la perspective d'une étude spatiale, il était donc nécessaire de sacrifier la longueur à la quantité et de travailler sur la période 1951-1976.

Les valeurs manquantes dans les séries (quelques mois isolés) ont pu être estimées dans la majorité des cas de manière fiable à partir du réseau ; seules deux séries n'ayant pu être traitées avec suffisamment de fiabilité ont été abandonnées. C'est donc sur l'ensemble des 31 postes répertoriés dans le tableau 1 que se sont effectués les tests à la suite d'une analyse factorielle en composantes principales portant sur les hauteurs d'eau annuelles.

Pour les groupes 1 et 2, l'analyse des courbes de cumul de résidus permet de confirmer l'existence d'une hétérogénéité dans la série de Zinswiller, hétérogénéité due à un changement d'emplacement. Pour le groupe 3, elle permet de constater la présence de deux types de séries :

- **des séries très corrélées entre elles et dont les courbes de cumul de résidus sont très proches ; il s'agit en majorité de mesures faites sur le plateau lorrain ;**
- **des séries moins corrélées et dont les courbes dénotent des évolutions différentes au cours de la période 1951-1976. Pour certaines, ces différences peuvent être a priori imputées à une origine climatique ; c'est le cas de Phalsbourg, station tenue par le personnel de la Météorologie Nationale et n'ayant pas connu d'« accident » notable au cours de la période. Pour d'autres, l'origine est moins sûre et avant de trancher pour ou contre l'existence d'une hétérogénéité, il est nécessaire de connaître de façon plus approfondie les variations spatio-temporelles des précipitations sur l'espace concerné.**

TABLEAU 1 - LISTE DES STATIONS (séries complètes 1951-1976)

	groupe 1	groupe 2	groupe 3	réseau 1	réseau 2
5708 Gondrexange			x	x	x
5713 Delme			x	x	x
5709 Mittersheim (ecl. 12)			x	x	x
5710 Nitting			x	x	x
5703 Phalsbourg			x	x	x
5706 Mittersheim (ecl. 14)			x	x	
5403 Nancy (Tomblaine)			x	x	x
5412 Pierre Percée			x		
5404 St Nicolas de Port			x		
5413 St Sauveur			x	x	x
8808 La Bresse			x	x	x
8816 Golbey			x	x	
8802 Mirecourt			x	x	x
8811 Remiremont			x	x	x
8812 St Dié			x	x	x
8813 Senones			x	x	
8815 Xonrupt-Longemer			x	x	x
6733 Barr		x			
6716 Brumath	x				
6717 Diemeringen			x	x	x
6718 Ébersheim		x			x
6719 Entzheim		x			x
6723 Haguenau Dachshubel	x				x
6732 Le Hohwald					x
6726 Rothau					x
6727 Stattmatten	x				x
6728 Strasbourg IPG		x			x
6731 Villé St Martin					
6730 Zinswiller	x				
6816 Neuf-Brisach					
6825 Wintzenheim		x			x

La série de Neuf-Brisach n'a pas été utilisée dans l'étude saisonnière. Sur l'originalité de cette série, nous renvoyons à la thèse de GOERIG (1979).

II - MÉTHODOLOGIE

Le préalable fondamental est que pour tout instant t donné, le réseau de mesures rend compte de manière discontinue dans l'espace d'un champ en réalité continu. Les hauteurs d'eau recueillies à chaque point de mesure pendant un intervalle de temps Δt - que ce soit le jour, le mois, l'année, etc... - sont le résultat de la déformation de ce champ au cours du temps. La forme du champ est elle-même le résultat des interactions entre l'état de l'atmosphère et la rugosité de la surface terrestre. Si dans un point du réseau la mesure ne s'effectue pas dans les mêmes conditions au long de la période considérée, les champs sont affectés de déformations supplémentaires.

Un deuxième préalable concerne la pratique opératoire : l'analyse factorielle peut donner une image du comportement d'un réseau quant aux variations interannuelles des variables qui y sont mesurées.

L'espace couvert par la coupure STRASBOURG présente une certaine «rugosité» qui entraîne des interactions avec l'atmosphère, variables dans le temps et l'espace ; d'après les nombreuses études faites sur cette région, les saisons qui révèlent le plus les différenciations spatiales sont l'hiver et l'été. En conséquence, nous avons effectué des analyses factorielles sur les précipitations cumulées de décembre, janvier et février pour l'hiver, de juin, juillet et août pour l'été. Les réseaux concernés sont successivement :

- le réseau du groupe 3 qui couvre la zone lorraine de la coupure, vosges en partie comprise ;
- le réseau de départ amputé des quelques séries hétérogènes détectées au cours des tests ou lors de l'analyse du groupe 3 (tableau 1)

Le type d'analyse choisi est l'analyse en composantes principales retenue de préférence à l'analyse des correspondances. Entre autres intérêts, citons la possibilité grâce à la projection chronologique des points observations sur l'axe F1 d'appréhender très rapidement l'évolution globale de la pluviométrie sur la zone étudiée au cours de la période de référence. Précisons bien que nous appelons «variables» les postes de mesure et «observations» les années de mesure.

En conséquence, la projection des points «variables» sur les axes factoriels correspond au coefficient de corrélation entre les variables et les facteurs. Il n'en va pas de même pour les projections des «observations» sur les axes factoriels des «variables» ; il s'agit là d'un artifice de calcul permettant de superposer les points «observations» et les points «variables» et de «voir» quelles observations déterminent la position de telle ou telle variable (MARTIN et de SAINTIGNON 1974).

La présentation des résultats est faite conjointement sur les deux réseaux.

III - RÉSULTATS

1. La cohésion spatiale (3) et la différence été-hiver

Le tableau 2 recense les paramètres des distributions des précipitations d'hiver et d'été ; le tableau 3 donne les pourcentages d'inertie des quatre premiers facteurs pour les quatre analyses ; la figure 2 présente la distribution des coefficients de corrélation des séries prises deux à deux, coefficients extraits de la matrice de corrélation du réseau 1. Ces trois documents mettent en évidence la différence entre hiver et été :

TABLEAU 2 - Moyennes, écarts-types et coefficients λ pour les précipitations cumulées d'hiver (décembre, janvier, février) et les précipitations cumulées d'été (juin, juillet, août). Période 1951-1976.

	HIVER			ÉTÉ		
	\bar{x} mm	σ mm	λ	\bar{x} mm	σ mm	λ
Phalsbourg	179	72	6.2	232	61	14.5
Mittersheim (écl. n° 14)	203	77	7.0	232	63	13.6
Gondrexange	195	71	7.5	229	56	16.7
Nitting	223	82	7.4	250	61	16.8
Delme	153	60	7.5	190	56	10.0
Nancy-Tomblaine	174	67	7.9	199	62	8.8
St Sauveur	254	89	8.1	290	94	9.5
Mirecourt	209	86	5.9	216	79	7.5
La Bresse	525	136	5.8	407	219	9.0
Remiremont	412	154	7.2	334	116	8.3
St-Dié	292	120	5.9	305	101	9.1
Xonrupt	488	207	5.6	427	132	10.5
Diemerdingen	195	76	6.6	227	58	15.3
Ébersheim	106	55	3.7	193	56	11.9
Entzheim	98	41	5.7	205	58	12.5
Haguenau	170	66	6.6	235	67	12.3
Rothau	382	169	5.1	308	102	9.1
Statmatten	178	68	6.8	240	74	10.5
Strasbourg	128	53	5.8	233	65	12.8
Le Hohwald	305	123	6.1	298	99	9.1
Wintzenheim	133	61	4.7	212	69	9.4

(3) Pour nous, l'utilisation du terme de «cohésion» ne sert qu'à indiquer les plus ou moins grandes similitudes existant dans les évolutions qu'ont connu les séries au cours de la période étudiée.

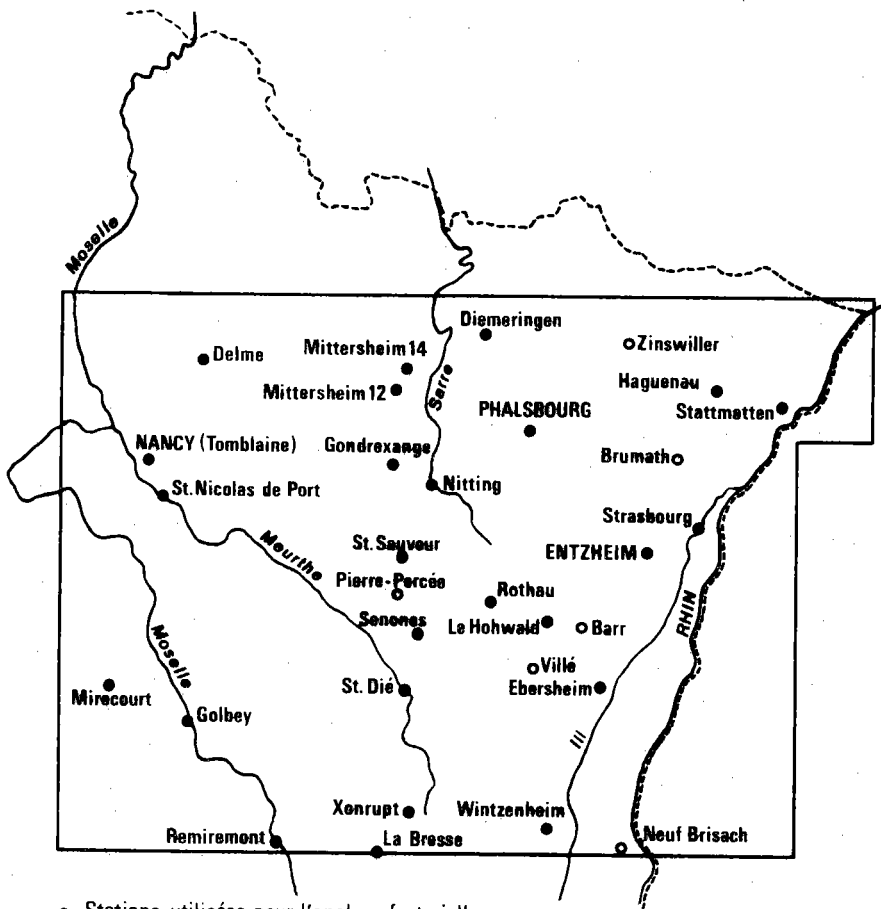


Fig. 1 - Coupure **STRASBOURG** de la Carte Climatique Détaillée de la France
 Localisation des séries complètes 1951-1976

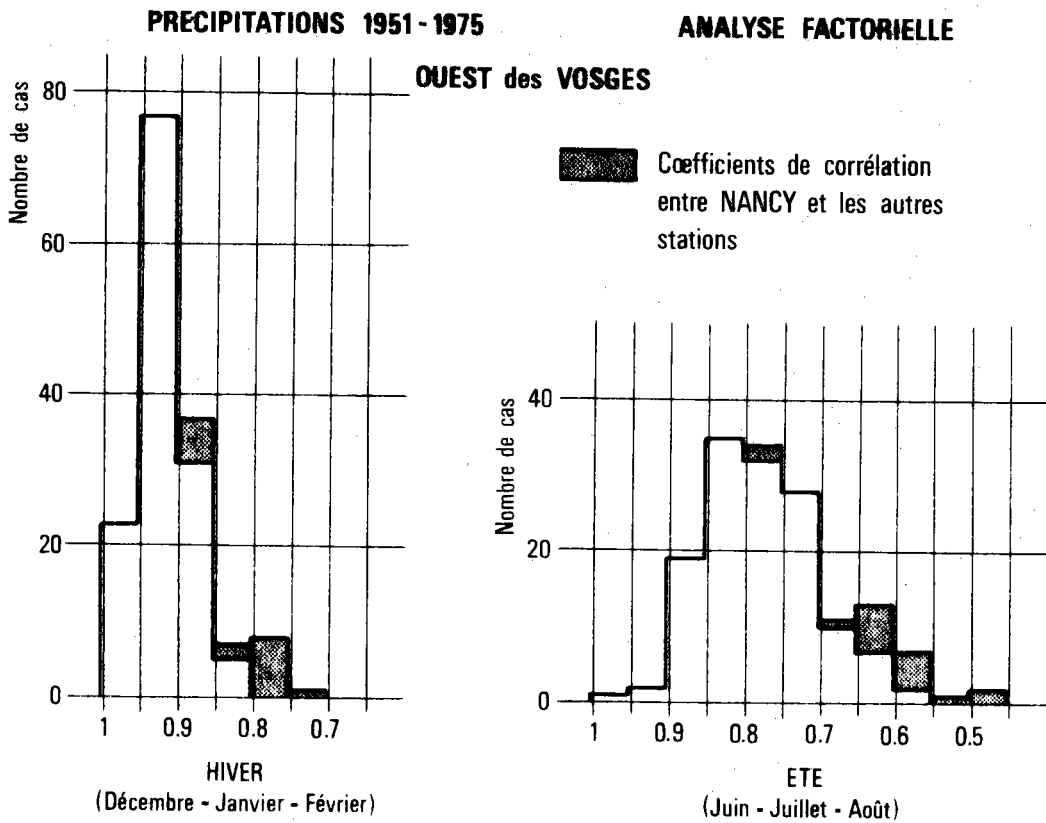


Fig. 2 - Distribution des coefficients de corrélation entre les stations du réseau 1

TABLEAU 3 - Pourcentage d'inertie des facteurs

	HIVER		ÉTÉ	
	zone 1	zone 2	zone 1	zone 2
F1	91.8	91.3	78.0	74.5
F2	2.2	2.2	5.1	4.9
F3	1.3	1.4	3.8	4.3
F4	1.2	1.1	3.2	3.1
Total	96.5	96.0	90.1	86.8

Note : la zone 1 correspond à l'analyse sur 18 stations des Vosges et du plateau lorrain.
la zone 2 correspond à l'analyse sur 21 stations de la coupure Strasbourg incluant l'Alsace.

- la cohésion de chacun des réseaux est nettement plus forte en hiver qu'en été. Le premier facteur prend en compte 91,8 et 91,3 % de la variance en hiver contre respectivement 78,0 et 74,5 en été ; c'est ce qu'illustre la différence des distributions du coefficient de corrélation entre stations. La perte d'inertie au niveau des quatre premiers facteurs entre le 1er et le 2e réseau est également plus forte en été qu'en hiver (3,3 % contre 0,5 %). Par ailleurs, les coefficients de corrélation entre les variables et le premier facteur qui donne l'évolution globale du réseau d'une année à l'autre varient de 0,85 à 0,99 en hiver, de 0,70 à 0,95 en été.
- les distributions interannuelles des hauteurs d'eau sont plus dissymétriques en hiver qu'en été - coefficient λ plus faible -.

Ces deux constatations peuvent être commentées de la manière suivante : les précipitations d'hiver sont affectées d'une plus grande variabilité interannuelle mais ces variations s'effectuent de manière plus homogènes dans l'espace. Ou encore : les mois d'été sont plus sûrement arrosés tous les ans (!) mais de manière plus capricieuse dans l'espace ; il est possible de reconnaître là l'influence des phénomènes orageux.

2. Les nuances et les différences à l'intérieur des réseaux

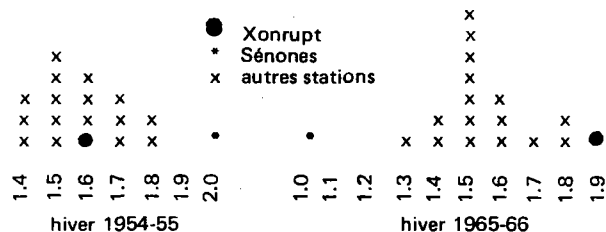
Le premier facteur donnant l'évolution globale du réseau, il est nécessaire d'analyser les facteurs suivants pour apprécier les différences de comportement entre les stations.

Figure 3 sont regroupés les projections des «variables» sur les axes factoriels F2 et F3 pour les quatre analyses, hiver à gauche, été à droite. Les noms des stations principales de la Météorologie Nationale sont écrits en capitale.

a) Le réseau 1 : élimination des anomalies :

1) L'hiver. Sur l'axe F2, s'expriment deux oppositions plus ou moins nettes :

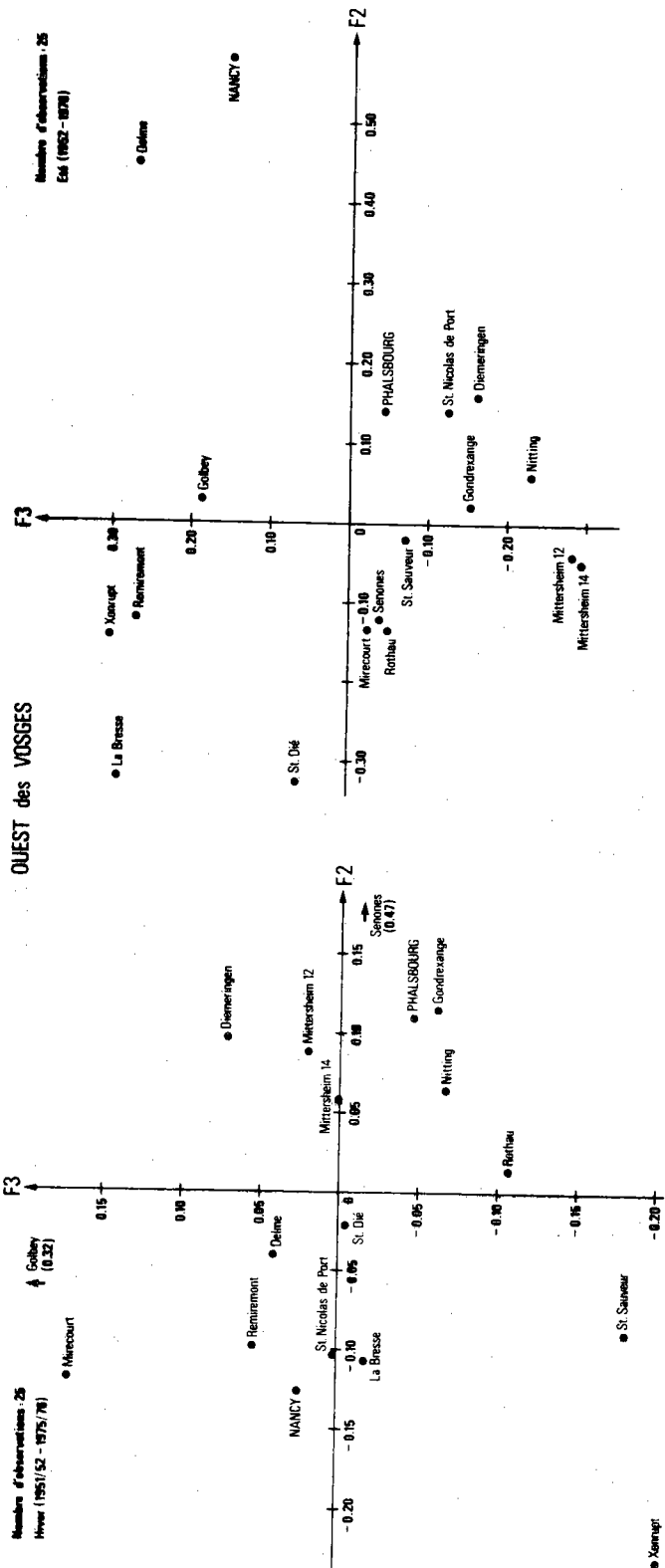
- une différenciation spatiale entre le nord-est de la zone et le reste, Phalsbourg et Nancy étant significativement aux deux extrémités du nuage principal ;
- une forte opposition entre les stations de Xonrupt et de Sénones, celles-ci ayant une position franchement excentrique par rapport au nuage de points. L'examen des projections des observations année par année (figure 4 en haut à gauche) révèle que les hivers 1954-55, 1957-58 et 1965-66 (axe F2), hivers très arrosés (axe F1) contribuent largement à structurer le réseau. L'examen des hauteurs d'eau recueillies dans l'ensemble du réseau permet de penser que la série de Sénones est entachée d'anomalies au cours de certains hivers et que la position de Xonrupt au sein des Vosges lui confère un comportement original par rapport au reste du réseau. Citons à titre d'exemple les distributions des rapports à la moyenne de la période, de l'ensemble des stations du réseau, pour les hivers 1954-55 et 1965-66 :



Sur l'axe F3 ressort l'opposition entre les séries de Xonrupt et St Sauveur d'une part, et Golbey d'autre part. Ici, ce sont les hivers 1961-62, 1968-69, 1974-75, et 1975-76 qui sont en cause ainsi qu'en témoignent les rapports à la moyenne :

	61/62	68/69	74/75	75/76
rapport à Golbey	1.5	1.3	0.7	0.6
rapport à Xonrupt	0.8	0.8	1.1	1.7

HIVER (Décembre - Janvier - Février)



COUPEURE STRASBOURG

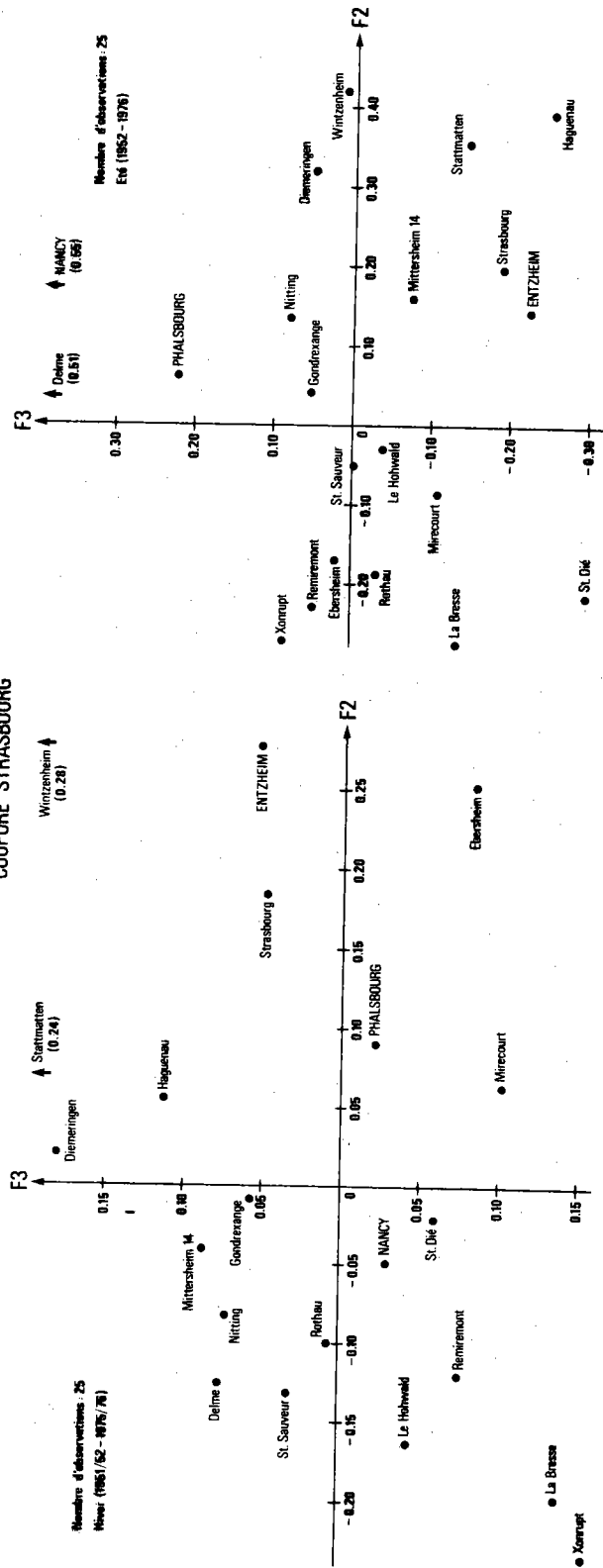


Fig. 3 - Projections des "variables" sur les plans factoriels F2 x F3

2) L'été : ici encore, l'axe F2 traduit deux types d'oppositions :

- une différenciation entre le plateau lorrain et les stations des Vosges, sur laquelle nous reviendrons dans l'analyse du deuxième réseau.
- une anomalie au cours de l'été 1972 à Nancy et dans une moindre mesure, à Delme. Il s'agit là d'une anomalie de type climatique, Nancy s'étend trouvé cet été trois mois de suite dans le noyau des plus fortes précipitations.

Les stations de Golbey et Sénones jugées douteuses et celle de Mittersheim n° 12 très proche de Mittersheim n° 14 ont été supprimées dans la suite de l'étude.

b) Le réseau 2 :

Les projections des variables sur le plan F2 x F3 révèlent que les plus grands écarts se situent entre le groupe des stations vosgiennes et le groupe des stations de la plaine d'Alsace, les premières se situant, tant en hiver qu'en été, dans la partie la plus négative de l'axe F2, comme dans l'analyse du réseau 1, les secondes dans la partie la plus positive. Les stations du plateau lorrain se retrouvent tantôt plus proches des stations de la plaine d'Alsace, tantôt plus proches des stations des Vosges : en été, les Vosges semblent s'individualiser, en hiver, il semble que ce soit la plaine d'Alsace qui ait un comportement original.

Avant de conclure à une véritable différenciation régionale, il est nécessaire de vérifier si l'analyse n'est pas entachée d'un biais statistique. En effet, il existe une certaine liaison entre les valeurs des projections sur l'axe F2 et la hauteur moyenne d'eau reçue (figure 5) ; cette liaison existait déjà lors de l'analyse précédente ; elle est renforcée ici par l'introduction des stations alsaciennes. Nous avons donc contrôlé que les séries des stations les plus arrosées ne présentaient pas d'écarts à la normale centrés et réduits (4) systématiquement plus forts que les autres. Les quelques valeurs citées dans le tableau 4 montre qu'il n'en est rien. De même, n'avons-nous relevé aucune liaison entre les contributions sur l'axe F2 et les valeurs de λ .

TABEAU 4 - Écarts à la normale réduits $\frac{(x_i - \bar{x})}{\sigma}$ des valeurs minima et maxima enregistrées en été dans quelques stations

Stations	F2	Minima			Maxima			Étendue
		Année	hauteur d'eau (x _i) mm	$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	Année	hauteur d'eau (x _i) mm	$\frac{x_i - \bar{x}}{\sigma}$	
Entzheim	0.143	1962	100	- 1.81	1956 (1953)	317 (221)	1.93 (1.79)	3.74
Nancy	0.170	1964	102	- 1.45	1972	347	2.19	3.64
Phalsbourg	0.063	1964	110	- 1.97	1960	336	1.70	3.67
Xonrupt	-0.273	1962	204	- 1.68	1969	727	2.28	3.96
La Bresse	-0.277	1962	152	- 1.88	1957	599	1.71	3.59

Nous pouvons donc conclure à une véritable différenciation régionale entre les trois zones étudiées. Les Vosges, plus arrosées que les régions voisines, le sont également plus en hiver qu'en été, alors que c'est le contraire ailleurs (tableau 2). L'évolution de cette pluviosité au cours des étés et des hivers de la période 1951-1976 a présenté plus de différences avec la plaine d'Alsace qu'avec le plateau lorrain. En hiver, les précipitations du plateau lorrain ont évolué de manière plus proche de celles des Vosges que de celles de la plaine d'Alsace, alors qu'en été, le plateau lorrain présente plus de similitudes avec la plaine d'Alsace. Ces différenciations régionales prennent le pas sur l'anomalie climatique de l'été 1972 à Nancy dont les effets moins importants sur l'axe F2 se reportent sur F3

3. Évolution de la pluviosité au cours de la période 1951-1976

Sur la figure 4, sont regroupées les projections des points observations sur les axes factoriels des variables - avec les réserves exprimées plus haut (§11) - et les rapports annuels à la moyenne pour quelques stations. L'évolution générale du réseau nous est donnée par les projections des points « observation » de l'axe F1 ; les évolutions différentielles de telle ou telle partie du réseau nous sont données par les projections sur les autres axes factoriels.

a) L'été :

Le début de la période est marquée par des étés arrosés (contributions positives sur F1) surtout dans les Vosges (contributions négatives sur F2). Suivent ensuite une série d'années très irrégulières dans le temps mais plus cohérentes dans l'espace (contributions plus faibles sur les axes F2 et F3) ; et pour finir, une série d'années de pluviosité décroissante se terminant par la sécheresse de 1976.

Dans le réseau 1, une certaine tendance apparaît sur l'axe F2, les Vosges étant proportionnellement plus arrosées pendant les 6 premières années, Nancy pendant la fin de la période. Cette tendance sur l'axe F2 est effacée dans l'analyse du réseau 2 mais elle apparaît légèrement sur l'axe F3. L'introduction des stations alsaciennes a conforté l'originalité des Vosges par rapport aux zones avoisinantes et fait passer l'opposition Nancy-Vosges au deuxième plan.

(4) Rappelons que dans cette analyse en composantes principales, nous « travaillons » sur les variables centrées réduites.

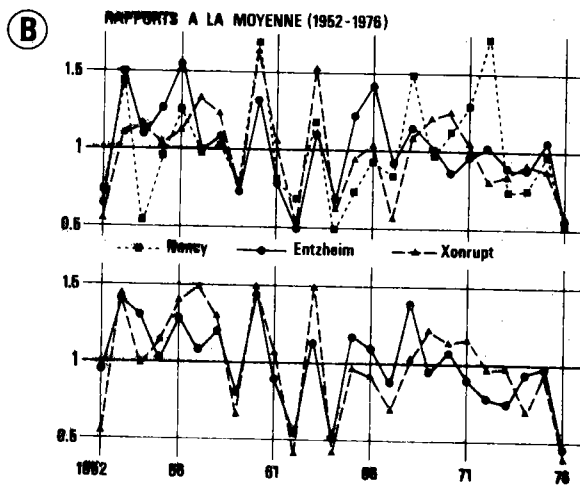
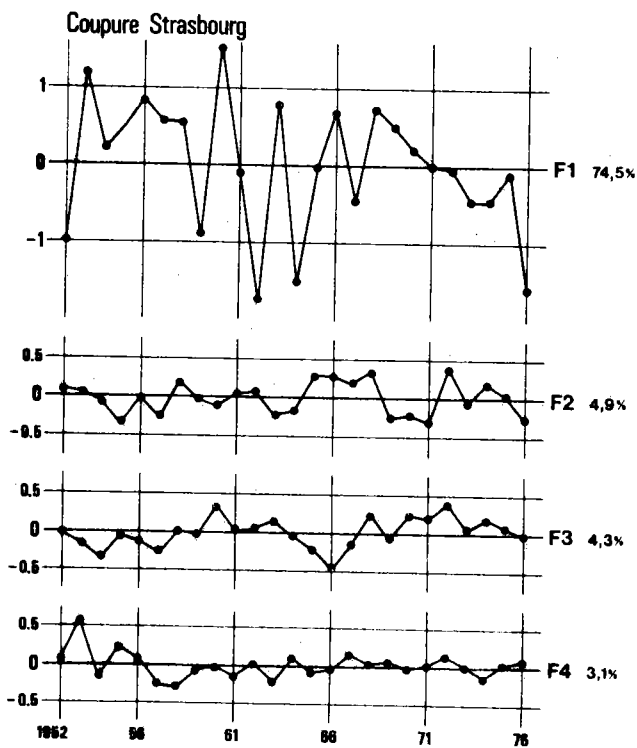
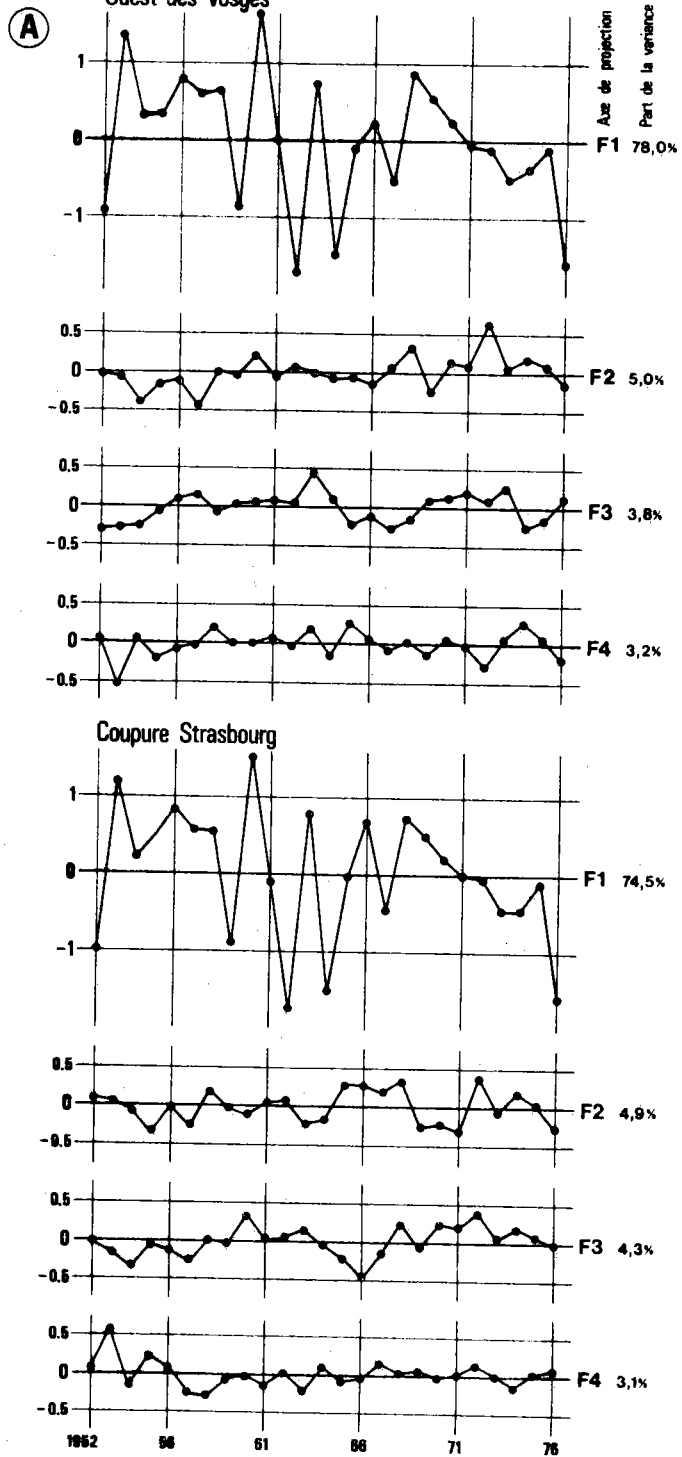
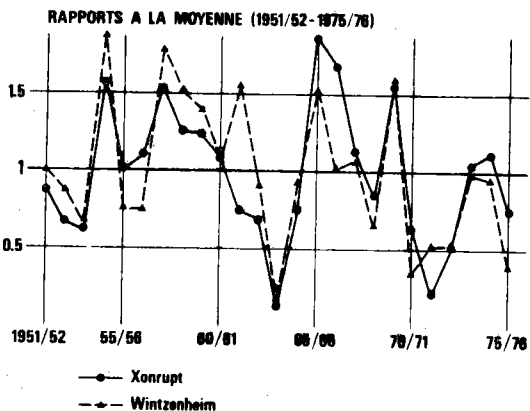
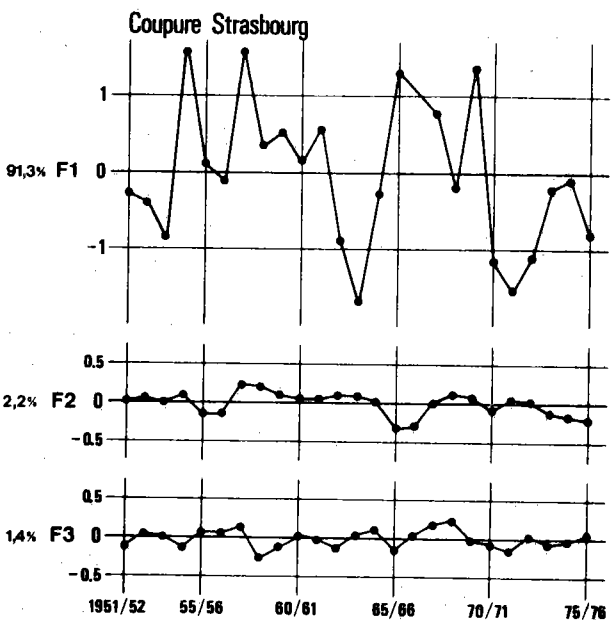
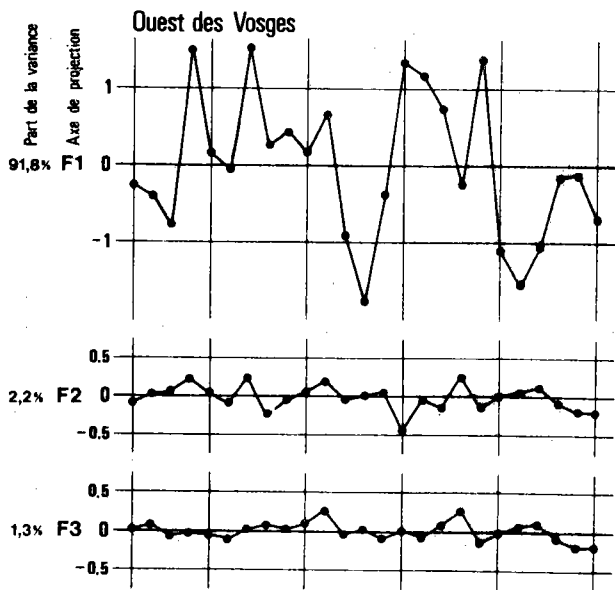
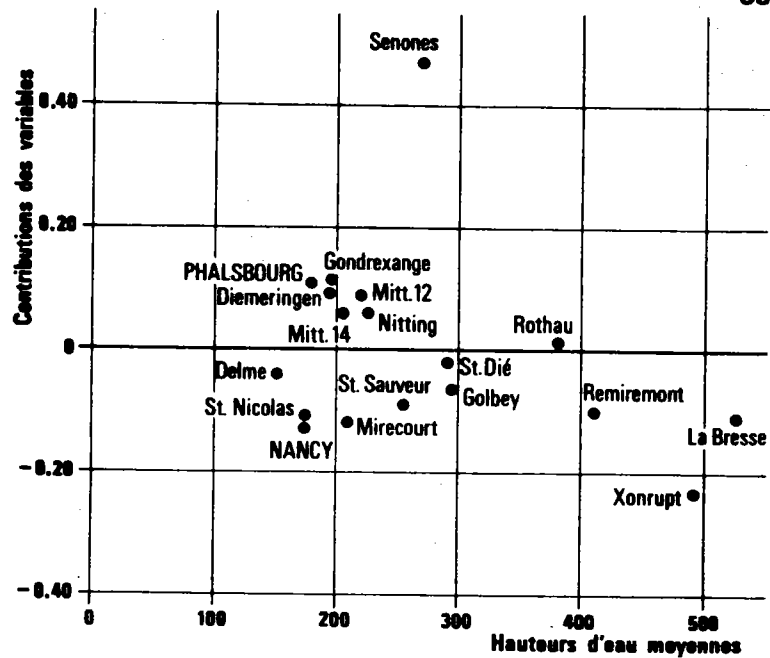
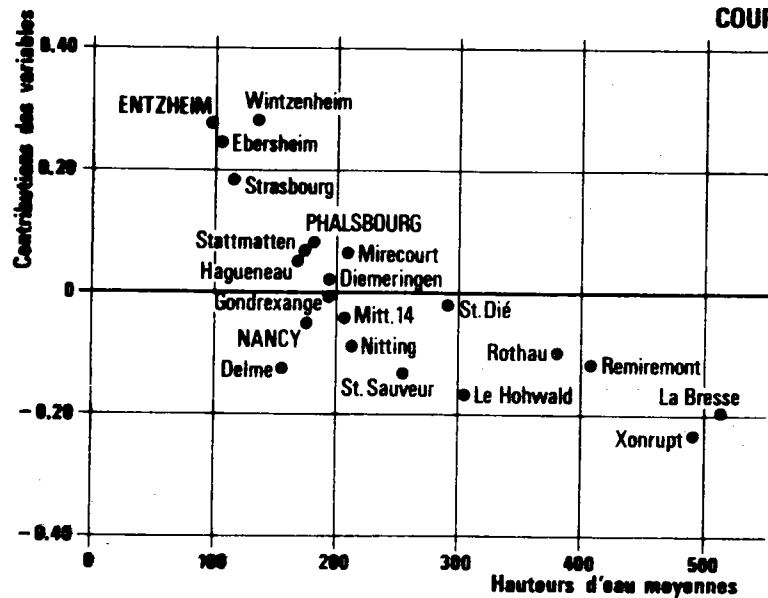
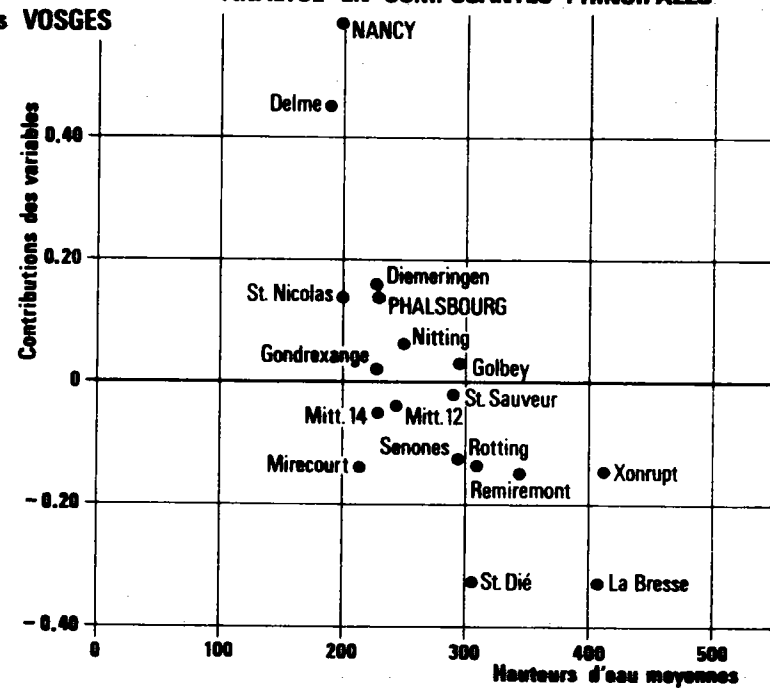


Fig. 4 - Evolution chronologique des projections des "observations" sur les axes factoriels des "variables"
Evolution chronologique des rapports à la moyenne de la période étudiée

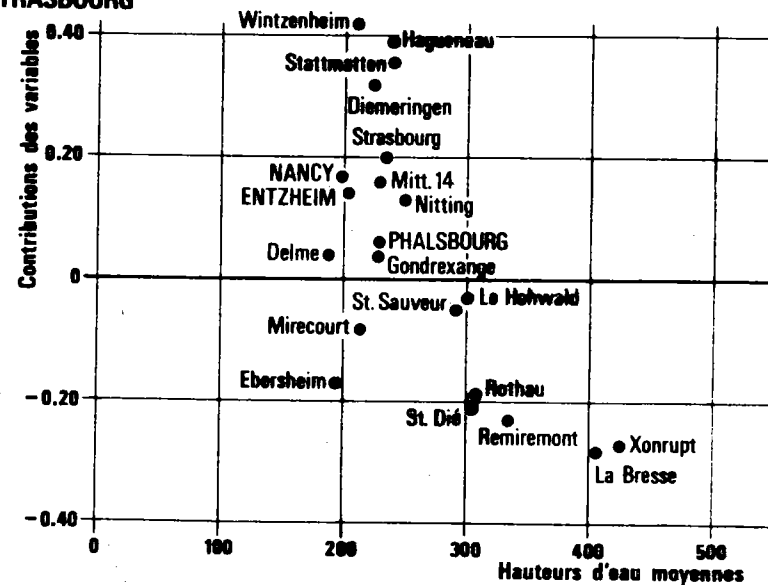
PRECIPITATIONS 1951 - 1975



ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES



COUPURE STRASBOURG



HIVER (Décembre - Janvier - Février)

ETE (Juin - Juillet - Août)

Fig. 5 - Liaisons entre les projections des "variables" sur l'axe F2 et les hauteurs d'eau moyennes

b) L'hiver :

La série 1951-1976 est marquée par deux périodes arrosées de 1954 à 1963 et de 1965 à 1970 et deux hivers très déficitaires, l'hiver 1963-64 et l'hiver 1971-72 ; ce dernier s'insère dans une série d'années qui ne dépassent guère la moyenne. La deuxième période excédentaire est marquée par une certaine différenciation spatiale (réseau 2), les hivers 1965-66 et 1966-67 ayant été proportionnellement plus arrosés dans les Vosges qu'ailleurs (contributions négatives sur F2). Pour les hivers 1957-58 et 1958-59, il se passe le phénomène inverse (contributions positives sur F2).

CONCLUSION

Trois conclusions d'ordres différents peuvent être tirées de cette étude :

1) La combinaison des tests par la méthode du cumul des résidus et de l'analyse en composantes principales sur les saisons d'hiver et d'été a permis de déterminer les séries qui présentaient des hétérogénéités.

2) Du point de vue des fluctuations temporelles des précipitations, le réseau des observations évolue dans le temps, avec plus de cohésion en hiver qu'en été. Les deux zones les plus différenciées de la coupure sont celles qui recouvrent les Vosges et la plaine d'Alsace, la zone lorraine, intermédiaire, présentant plus de similitude de comportement avec les Vosges en hiver qu'en été.

3) La méthode d'analyse factorielle en composantes principales permet de dégager rapidement les grands traits de différenciation dans un réseau et grâce aux projections de points « observations », de voir les anomalies. Mais c'est une méthode descriptive qui ne permet pas de tester l'importance de telle ou telle originalité.

Cette étude montre donc qu'il est hautement souhaitable de développer la recherche d'un modèle permettant une approche plus précise et quantitative du problème.

BIBLIOGRAPHIE

GOERIG A. (1979) : *Étude climatique de la sécheresse dans la plaine d'Alsace*, thèse de 3e cycle, UER de géographie, Strasbourg ; tome 1 : texte, 189 p ; tome 2, annexes.

MARTIN S. et de SAINTIGNON M.F. (1974) : Application de l'analyse factorielle en composantes principales à l'étude de la variabilité régionale et interannuelle des précipitations ardéchoises, *Rev Géogr Lyon*, 49 (1), 77-92.

VIVIAN H. et MARTIN S. (1978) : Fluctuations spatio-temporelles des précipitations d'une zone intra-alpine en fonction de la circulation atmosphérique générale (exemples pris en Savoie) *15 Internationale Tagung für Alpine Meteorologie*, Grindelwald, 19-23 sept. 1978. Tagungsbericht, 1. Teil, 258-262.