

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960

PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



UN SIÈCLE D'OBSERVATIONS
MÉTÉOROLOGIQUES
À MONACO

PRINCIPAUTÉ DE MONACO

Volume 3 - 1988

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960
PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



UN SIÈCLE D'OBSERVATIONS
MÉTÉOROLOGIQUES
À MONACO

Volume 3

Le Centre Scientifique de Monaco a été fondé par Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III, par la Loi n° 690 du 23 mai 1960, complétée par la Loi n° 780 du 9 juin 1966.

Cet établissement public, de droit monégasque, est géré par un Conseil d'Administration, présidé de 1960 à 1976 par Son Excellence Monsieur Arthur Crovetto et depuis par Son Excellence Monsieur César Charles Solamito.

Son activité est examinée périodiquement par le Comité de Perfectionnement, chargé en outre, d'en orienter les travaux, sous la Présidence de Monsieur Emile Girardeau, Membre de l'Institut, jusqu'en 1971 et depuis par Monsieur Bertrand Goldschmidt, Conseiller du Commissariat français à l'Énergie Atomique.

Les appellations employées dans ce Bulletin et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Centre Scientifique de Monaco aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

© Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION	5
LE TEMPS EN MÉDITERRANÉE OCCIDENTALE	17
CLIMATOLOGIE DE LA CÔTE D'AZUR	23
LES APPAREILS MÉTÉOROLOGIQUES AU MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE DE MONACO	29
LES TEMPÉRATURES	33
LES PRÉCIPITATIONS	43
LE VENT	53
LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE	61
L'INSOLATION	65
L'HUMIDITÉ	67
LA NEIGE	71
CONCLUSION	73
BIBLIOGRAPHIE	77

INTRODUCTION

Une synthèse des mesures météorologiques effectuée à Monaco durant plus de soixante-quinze ans ne peut être présentée sans rendre hommage à celui qui a pris l'initiative de la création de la station météorologique du Musée océanographique et qui a suivi avec attention le devenir de ce service : Son Altesse Sérénissime le Prince Albert 1^{er}.

Marin, il connaissait l'importance de la météorologie ; homme de sciences, il essayait de comprendre les phénomènes atmosphériques. Ainsi a-t-il écrit dans une communication à l'Académie des Sciences de Paris : ... *Mes diverses campagnes maritimes et mes recherches sur l'océanographie m'avaient fait songer depuis quelques temps aux avantages que la météorologie pourrait trouver à la création d'un certain nombre d'observatoires sur les îles éparses de l'Atlantique. La prévision du temps réalisera de grands progrès en attendant que ces stations soient multipliées sur toutes les mers du globe...* (1), écrit prémonitoire de la grande extension que prendront les différents réseaux de mesures météorologiques.

La mise à exécution de son projet ne devait pas tarder... C'est ainsi que l'Observatoire de Météorologie des Açores peut commémorer ses soixante-quinze ans d'existence, simultanément avec la station de Météorologie du Musée océanographique !

Car S.A.S. le Prince Albert 1^{er}, célèbre pour son apport décisif dans le développement des sciences de la mer, contribua beaucoup au progrès de la météorologie. Son besoin de comprendre les mécanismes régissant le monde le poussait toujours plus loin, en l'occurrence toujours plus haut : *J'ai ajouté au plan de mes études océanographiques, certaines recherches météorologiques dans la haute atmosphère... ; j'ai fait cela parce que les domaines de l'océanographie et de la météorologie se pénètrent mutuellement.* (2)

Dès le début de la construction du Musée (1898-1899), le Prince décide d'y annexer une station météorologique qui prolongerait et étendrait les observations déjà effectuées à Monaco par le docteur Alfred Gueirard depuis 1874 dans son petit observatoire. Ses mesures ont été publiées dans le « Bulletin de l'Observatoire Météorologique et Physique de Monaco » qui n'a compté que trois fascicules consacrés aux années 1890-1891 et 1891-1892 (Figure 1).

Pour réaliser son projet, le Prince demande conseil à son collègue de l'Académie des Sciences de Paris, Eleuthère Mascart, éminent physicien et directeur du Bureau central météorologique.

Nous avons retrouvé une lettre de ce dernier au docteur Jules Richard, directeur du Musée océanographique :

(1) Note à l'Académie des Sciences de Paris du 18 juillet 1892.

(2) Conférence de Madrid, janvier 1912.

BULLETIN
DE
L'OBSERVATOIRE

MÉTÉOROLOGIQUE ET PHYSIQUE

DE MONACO

ANNÉE 1890-1891

N° 1 et 2



NICE

IMPRIMERIE ET LITHOGRAPHIE MALVANO-MIGNON

Rue Gioffredo, 62

1891

FIGURE 1 - Couverture de la Revue du docteur Gueirard. Ces exemplaires sont conservés à la Bibliothèque Louis Notari à Monaco et à la Bibliothèque de la Météorologie Nationale Française.



8 octobre 1908
Monsieur le Directeur

J'ai l'honneur de vous exposer ce qui suit : à la demande de M. Maurer, S.A.S. le Prince de Monaco avait décidé d'installer au palais océanographique un poste météorologique ; tous les détails y ont été réglés et je pense que le service pourra fonctionner à partir du 1^{er} novembre. Il nous reste à déterminer l'emplacement exact, sur la base de la carte, de la station, de l'observatoire. J'ai pensé qu'il convenait de vous faire connaître et je viens vous demander si vous pouvez bien donner des instructions au personnel chargé de l'observation de l'île pour nous aider à déterminer les emplacements de appareils et nous aider de leur compétence pour mettre en train le service de l'observation. Les travaux de Murat sont maintenant terminés pour qu'on puisse commencer les installations. Un petit menuiserie de Nice est déjà venue au travail ; j'ai visité ces menuisiers plusieurs fois à l'observatoire avec M. Eiffel. Je pense que comme M. Maurer, vous le savez, avait pour le bâtiment une dépense météorologique particulière, savoir ce qu'il a fait pour obtenir le matériel de cette dépense ? Convient-il que je demande à M. Eiffel de venir visiter l'observatoire de Nice le concernant du matériel de l'île ? Je suis très désolé d'être le plus court possible et de donner le minimum de renseignements aux personnes qui veulent bien venir pour les installations de l'île. Je serais avec reconnaissance à l'observation et à l'écouter que vous voudrez bien me donner et je vous prie de vouloir bien agréer, Monsieur le Directeur, l'assurance de mes sentiments les plus distingués et très dévoués.

J. Richard

R. Angot Directeur de l'Observatoire central météorologique
176 rue de l'Université Paris

Archives du Musée océanographique de Monaco.
Registre copie de lettres du docteur Jules Richard M 1, page 323.
8 octobre 1908.

FIGURE 2 - Lettre manuscrite du docteur J. Richard à R. Angot datée du 8 octobre 1908. Archives du Musée Océanographique.

« ... S.A.S. le Prince de Monaco a manifesté le désir de rétablir ce service et me charge de vous donner les renseignements sur la manière de l'organiser.

Vous trouverez dans la brochure ci-jointe toutes les indications nécessaires sur l'installation des appareils » (3).

L'acquisition des instruments préconisés par E. Mascart a lieu probablement dès cette époque mais leur mise en service est retardée jusqu'au moment où l'édification du Musée est achevée. C'est chose faite en 1908.

Le Prince réitère alors sa volonté de créer la station comme le prouve une lettre de J. Richard au météorologue Alfred Angot, successeur de E. Mascart au poste de directeur du Bureau central météorologique (Figure 2).

J. Richard, qui veut s'entourer des meilleurs conseils, prend aussi contact avec Gustave Eiffel qui avait un petit observatoire à Beaulieu. J. Richard secondait d'autant plus le Prince qu'il avait pleine conscience de l'importance de la météorologie pour interpréter des phénomènes océanographiques. Ainsi, en attendant d'avoir ses propres observations, il demande des données à G. Eiffel. Elles doivent permettre à Alexander Nathansohn, professeur à l'Université de Leipzig, d'approfondir son étude sur les populations planctoniques observées au large de Monaco.

En raison des déplacements difficiles et des lignes téléphoniques beaucoup plus rares, le mode de travail de l'époque était bien différent du mode actuel. Les hommes communiquaient donc le plus souvent par lettre et ce courrier abondant est la source d'archives passionnantes comme celles du Musée océanographique qui possède de nombreux témoignages de l'étroite collaboration de J. Richard et d'A. Angot. Ainsi, ce courrier daté du 1^{er} janvier 1909 où il expliquait à A. Angot les raisons du retard apporté à la mise en service de la station météorologique.

Le 28 novembre 1910, J. Richard lui annonce que tout est prêt et que les mesures vont commencer incessamment. Selon le désir du Prince, elles seront transmises chaque jour par dépêche et publiées en bonne place dans le « Bulletin de la Météorologie nationale française ».

Le service météorologique du Musée océanographique débute officiellement le 1^{er} janvier 1911. Le rapport d'activité du Musée donne tous les détails sur son fonctionnement. « Les observations qui se font à 7 heures, 14 heures et 18 heures sont relevées le matin et le soir par le concierge du Musée, l'après-midi par le garçon de laboratoire ou à défaut par un surveillant de salle. Tous les surveillants titulaires sont en état d'assurer le service météorologique » (4). Les appareils de mesure de la température, de l'hygrométrie et de la pluie sont placés dans un abri météorologique situé dans les jardins Saint-Martin à Monaco-ville, attenant au Musée ; anémomètre et girouette sont installés sur un mât à plusieurs mètres au-dessus de la terrasse du Musée.

Après l'installation, les relations épistolaires entre A. Angot et J. Richard ne sont pas pour autant suspendues. Ils continuent à traiter de problèmes techniques. En décembre 1916, J. Richard narre les avatars produits par la chute de la foudre sur le Musée. Les deux hommes discutent aussi de l'heure à adopter dans les bulletins (heure locale ou heure universelle ?). Ils examinent les qualités des différents appareils météorologiques.

L'année 1918 est consacrée à la préparation d'une série de congrès qui se tiendront à Monaco sous l'égide de S.A.S. le Prince Albert 1^{er}. La climatologie y figure en place d'honneur. Une communication y est très remarquée : celle de Jules Vallot concernant « la climatologie comparée des régions côtières de France au point de vue météorologique » et qui trace un tableau très détaillé des variations annuelles des paramètres tels que température, insolation, humidité, en insistant déjà sur la disparité des mesures obtenues en différentes stations de la Côte d'Azur : « Biarritz est la seule station d'hiver des côtes de France qui puisse être mise en parallèle avec Nice, mais non avec Beaulieu et Monaco qui sont beaucoup plus chaudes ».

(3) Lettre du 23 juillet 1901. Archives du Musée océanographique.

(4) Compte rendu de la réunion du Conseil d'Administration de l'Institut océanographique, séance du 30 décembre 1912, rédigé par Louis Sirvent, page 26.

DATES.	PRESSION BAROMÉTRIQUE.									VENT DES GIROUETTES.									PLUIE EN MILLIMÈTRES ET DIXIÈMES.			
	7 heures du matin.			2 heures du soir.			6 heures du soir.			2h. du matin.		2 h. du soir.		6 h. du soir.		7 heures du matin.	2 heures du soir.	6 heures du soir.	TOTAL DE LA JOURNÉE.			
	Lecture.	Température.	Corrigé et à zéro.	Lecture.	Température.	Corrigé et à zéro.	Lecture.	Température.	Corrigé et à zéro.	Direction.	Force.	Direction.	Force.	Direction.	Force.	7 heures du matin.	2 heures du soir.	6 heures du soir.	TOTAL DE LA JOURNÉE.			
1	763,0	22,0	765,0	763,0	22,0	765,9	762,3	22,1	764,3	E	1,2	SSW	6,2	SW	6,5	belle	belle	belle	0,0			
2	764,5	22,0	763,5	761,1	22,0	763,1	760,3	22,0	762,3	S	0,1	SW	4,5	SW	7,8	belle	belle	belle	0,0			
3	761,0	22,0	763,0	760,2	22,0	762,1	760,9	22,0	761,9	NNE	3,4	E	5,6	ENE	2,3	belle	belle	belle	0,0			
4	758,8	22,0	760,7	758,2	22,0	760,0	757,2	22,0	757,1	NE	1,1	ENE	7,8	ENE	5,6	belle	agité	bombé	0,0			
5	758,1	22,0	760,6	759,3	22,1	761,1	758,4	22,1	760,3	NE	4,5	ESE	3,4	E	3,4	belle	belle	belle	0,0			
6	758,8	22,0	757,7	754,0	22,0	758,8	756,0	22,0	757,9	WNW	1,1	ENE	4,5	E	11,0	belle	belle	agité	0,0			
7	759,3	22,0	761,2	760,8	22,0	760,9	760,4	22,0	762,4	E	2,3	WSW	3,4	SE	0,1	pluie	belle	belle	0,0			
8	761,6	22,0	763,6	762,9	22,0	764,2	762,2	22,1	764,1	SSE	0,1	SW	6,5	SW	1,2	belle	belle	belle	0,0			
9	765,2	22,1	767,2	765,8	22,0	767,8	765,2	22,1	767,1	SW	0,1	ENE	2,3	SW	1,2	belle	belle	belle	0,0			
10	765,8	22,1	767,7	766,0	22,1	767,8	765,4	22,1	767,2	SSE	0,1	SE	0,1	SW	1,2	belle	belle	belle	0,0			
11	765,6	22,2	767,4	765,6	22,2	767,5	764,7	22,2	766,5	SSE	1,2	ENE	1,2	E	0,1	belle	belle	belle	0,0			
12	764,0	22,2	765,8	763,5	22,2	765,3	762,5	22,3	764,3	ESE	3,4	SSE	0,1	SE	3,4	belle	belle	belle	0,0			
13	759,4	22,4	763,5	761,2	22,6	764,9	760,0	22,8	761,7	ESE	0,1	SSW	4,5	SW	2,3	belle	belle	belle	0,0			
14	761,7	22,8	763,1	759,0	22,8	760,7	758,0	22,8	759,7	SSW	0,1	SE	man	SSE	man	belle	belle	belle	0,0			
15	757,2	22,8	758,0	756,6	22,8	758,3	755,8	22,8	757,2	E	man	S	1,2	SSE	0,1	belle	belle	belle	0,0			
16	756,5	22,8	758,3	756,6	22,8	758,3	754,7	22,7	756,4	SSE	0,1	SW	3,4	SW	5,6	belle	pluie	belle	0,0			
17	750,6	22,6	755,4	754,0	22,6	755,1	754,0	22,5	752,8	E	3,4	NE	6,7	ENE	3,4	belle	belle	belle	0,0			
18	756,0	22,5	757,9	757,1	22,5	758,3	757,0	22,5	758,2	E	0,1	SE	0,1	NE	1,2	belle	belle	belle	0,0			
19	759,2	22,5	761,9	760,2	22,5	762,0	759,8	22,5	761,6	SSW	3,4	SE	0,1	SW	3,4	belle	belle	belle	0,0			
20	760,6	22,5	762,5	760,7	22,5	762,0	758,7	22,4	760,5	NE	6,7	ENE	3,4	NE	3,4	pluie	agité	bombé	0,0			
21	759,0	22,5	760,8	759,1	22,2	761,0	759,1	22,3	760,9	WSW	3,4	SSW	6,7	SW	5,6	belle	bombé	pluie	0,0			
22	759,0	22,2	760,8	758,8	22,2	760,6	758,0	22,2	759,9	NNE	2,3	SW	3,4	NE	1,2	belle	belle	belle	0,0			
23	760,5	22,2	762,5	761,4	22,2	760,3	761,2	22,2	763,1	N	0,1	SSW	2,3	WSW	3,4	belle	belle	belle	0,0			
24	761,8	22,2	763,7	761,3	22,2	764,2	761,5	22,3	763,3	NNE	0,1	SSE	0,1	WSW	2,3	belle	belle	belle	0,0			
25	762,9	22,3	764,8	761,5	22,5	764,3	761,7	22,4	763,5	E	2,3	E	3,4	WNW	1,2	belle	belle	belle	0,0			
26	761,3	22,4	763,1	760,6	22,5	762,5	759,5	22,4	761,3	ENE	3,4	SSW	2,3	SW	5,6	belle	belle	belle	0,0			
27	756,8	22,4	758,6	757,2	22,1	759,1	756,8	22,2	758,7	ENE	0,1	ENE	5,6	ENE	4,5	belle	pluie	bombé	0,0			
28	754,8	22,9	756,7	753,4	22,0	760,3	758,7	22,1	760,4	ENE	11,2	ENE	0,1	WSW	3,4	agité	agité	belle	0,0			
29	760,8	22,2	762,7	760,6	22,2	762,5	761,5	22,2	763,4	SW	1,2	N	2,3	NW	0,1	belle	agité	belle	0,0			
30	762,7	22,3	764,5	763,0	22,4	764,7	763,2	22,4	765,1	NNE	7,8	NW	0,1	NNE	1,2	belle	belle	bombé	0,0			
31	762,4	22,4	764,5	762,2	22,5	764,0	761,9	22,6	762,8	WSW	2,3	SSW	1,2	SW	3,4	belle	belle	belle	0,0			
Totif. ...	X	X		X	X		X	X		X	X	X							21,4			
Moyenne.	X	X		X	X		X	X		X	X	X										

Il est inutile de calculer les totaux et moyennes pour les colonnes où ces deux lignes sont barrées par une croix.

FIGURE 4 - Extrait des archives de l'Observatoire de Méétéologie : résumé mensuel d'août 1914.

CENTRE SCIENTIFIQUE

DE MONACO

JANVIER 1985

INFORMATIONS RECHUEILLIES SUR LA TERRASSE
DU MUSEE OCEANOGRAPHIQUE A MONACO-VILLE

**

TEMPERATURE DE L'AIR

OBSERVATOIRE
DE METEOROLOGIE

EN DEGRES

EN BLANC VALEURS NON VALIDÉES

VALEURS HORAIRES

(MAXIMA ET MINIMA SUR DIX MINUTES)

**

HEURES EN TEMPS UNIVERSEL

DATE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	MIN	Heure	MAX	Heure
850101																												
850102	5.3	5.3	5.3	5.1	5.1	5.1	8.0	8.0	8.0	8.2	8.2	8.2	9.0	9.4	9.4	8.8	8.8	8.8	8.0	8.0	8.0	6.2	6.8	6.8	5.0	2H50	11.5	13H10
850103	5.5	5.2	5.4	5.3	5.2	5.1	5.0	5.1	6.0	7.7	8.1	8.0	6.4	6.3	5.9	4.7	3.5	4.4	4.4	3.5	3.0	3.3	3.3	3.3	2.9	20H40	9.0	10H0
850104	3.3	3.6	3.4	3.5	3.7	4.0	3.7	4.0	4.5	6.0	7.0	6.6	6.3	5.9	6.2	5.6	5.1	5.1	5.5	5.6	5.3	5.2	4.9	4.6	3.1	3H0	7.2	10H50
850105	4.2	5.1	4.9	4.5	4.1	3.2	1.0	4	5	8	9	1.5	2.6	2.7	1.3	-1.3	-1.5	-3	-2	3	4	4	5	5	-2.3	16H10	5.8	11H40
850106	8	7	8	3	-6	-4	-5	-8	1	1.8	3.1	4.4	4.9	4.5	3.7	2.9	2.4	1.9	1.6	1.8	1.7	1.5	1.7	1	-1.3	7H30	5.1	11H40
850107	-0	0	-1	4	1	-5	-9	-0	7	1.1	1.1	2.3	2.1	1.3	9	6	-3	-1.0	-6	-1.3	-2.0	-2.0	-1.5	-1.1	-2.2	21H40	3.2	12H4
850108	-9	-5	-2	-1	-1	-1.9	-2.0	-2.4	-2.7	-2.3	-1.5	-1.3	-1.3	-2.5	-2.5	-2.9	-2.3	-2.0	-2.3	-2.3	-1.6	-1.7	-1.6	-9	-3.2	15H30	2	4H50
850109	-3	4	-4	-2	-6	-6	-2	-2	1.3	3.1	4.6	4.9	5.5	5.0	4.4	3.3	2.4	2.5	2.4	2.4	2.4	2.6	2.3	2.3	-1.1	7H10	5.8	13H20
850110	2.7	2.5	2.7	2.8	2.9	2.8	2.8	3.3	4.1	5.7	6.9	7.9	7.8	7.9	7.4	6.4	4.8	4.0	4.0	4.0	3.9	3.4	2.9	3.0	2.3	14H0	8.2	13H50
850111	2.8	2.9	3.1	3.2	3.2	3.2	3.7	3.8	4.1	4.5	4.3	3.9	3.0	5.1	5.0	4.2	4.1	4.2	4.1	4.2	4.4	4.5	4.7	4.4	2.6	11H30	5.8	12H40
850112	4.4	4.4	4.1	4.0	3.9	3.7	4.1	4.2	5.2	5.6	5.8	7.0	6.8	5.9	5.6	5.2	5.0	4.9	4.6	4.5	4.0	4.0	4.2	4.2	3.5	5H40	7.8	11H50
850113	4.0	4.3	4.7	5.0	5.1	4.8	4.9	4.3	4.5	3.2	3.3	3.2	3.7	4.0	3.9	4.4	4.8	4.0	2.1	2.0	2.6	3.2	3.5	3.2	1.5	19H30	5.3	17H1
850114	3.5	3.5	3.5	2.4	1.0	9	1.3	1.7	2.4	2.6	1.8	1.1	1.9	5.0	3.9	3.9	3.8	1.9	2.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.2	4	20H50	6.4	13H30
850115	1.5	1.4	1.6	1.6	1.9	2.1	2.8	2.3	2.7	3.7	5.0	6.0	7.4	6.6	5.6	5.5	4.6	4.4	4.6	4.4	4.1	4.2	4.2	4.3	1.3	11H40	7.9	12H20
850116	4.6	4.8	4.8	4.8	5.1	5.4	5.7	6.4	6.8	7.9	8.7	9.3	9.7	8.8	8.1	7.6	7.8	7.5	7.5	7.2	7.0	7.1	6.8	4.4	0H10	10.1	13H40	
850117	6.7	6.6	6.5	6.6	6.5	6.4	6.4	7.2	7.1	10.0	11.8	11.9	12.4	12.0	9.7	9.4	8.5	8.1	8.2	7.9	7.4	6.9	7.2	7.9	6.1	6H10	12.7	12H41
850118	7.9	8.1	6.6	6.6	6.4	6.5	7.6	8.3	7.8	7.7	8.4	8.8	8.8	10.2	10.2	9.9	9.8	9.4	9.5	9.5	9.0	9.1	9.0	9.1	5.8	2H50	10.4	14H40
850119	9.0	8.8	8.8	8.7	8.4	8.6	8.9	9.1	9.5	10.1	10.6	11.1	11.7	11.6	11.6	11.8	10.3	9.8	9.4	9.2	9.1	8.9	8.7	8.6	8.3	4H40	12.1	13H31
850120	8.6	9.0	8.8	8.3	8.3	8.4	8.6	8.2	9.3	10.9	12.3	12.9	11.4	11.0	10.8	10.3	9.9	9.9	10.1	10.3	10.0	9.6	9.6	9.4	8.0	7H20	13.1	11H39
850121	9.0	8.8	8.7	9.0	9.2	9.0	8.5	8.4	8.3	8.6	8.6	8.3	7.9	8.0	8.3	8.7	8.9	8.0	9.1	9.8	9.6	9.0	9.1	7.7	12H30	10.2	20H0	
850122	9.0	8.7	8.6	8.7	8.8	8.9	8.9	8.9	9.0	9.1	9.1	9.2	9.4	9.6	9.7	10.0	10.2	10.2	10.0	10.1	10.1	10.3	10.3	10.2	8.6	1H50	10.4	22H50
850123	10.6	10.7	10.9	11.1	11.1	11.2	11.3	11.5	11.7	12.5	13.1	13.8	12.6	12.9	12.5	12.4	12.5	12.5	12.3	12.2	11.9	11.7	11.9	10.2	0H10	14.3	11H11	
850124	11.7	11.5	11.4	11.0	10.3	8.9	9.1	8.9	10.3	11.4	13.6	15.0	12.7	14.2	15.3	13.4	13.0	13.0	12.9	13.0	13.0	12.6	12.6	12.6	10.0	12H10	15.8	14H50
850125	9.2	9.2	9.2	8.8	8.8	8.8	8.4	8.5	8.5	13.0	13.0	13.0	12.6	12.6	12.6	13.0	13.0	12.0	12.0	12.0	12.3	10.2	10.2	10.2	8.0	6H40	13.6	20H19
850126	9.8	9.8	9.8	8.5	8.5	8.5	9.0	9.0	9.0	11.5	11.5	11.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.2	11.2	11.4	11.4	11.4	11.2	11.2	8.2	5H40	11.7	12H10	
850127	11.0	11.0	11.0	10.8	10.8	10.2	10.5	10.5	11.4	11.4	11.4	11.4	11.8	11.9	11.8	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	11.4	11.4	11.5	11.5	7.0	5H40	12.6	13H21
850128	8.0	8.0	8.0	8.0	8.0	7.9	7.7	7.7	7.7	9.8	9.8	9.8	9.8	11.6	11.5	11.8	11.8	11.8	11.4	11.4	11.4	11.0	11.0	11.0	7.5	5H50	12.0	12H52
850129	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	11.5	11.5	12.7	13.1	12.7	13.2	13.2	13.2	13.2	13.2	12.3	12.3	11.8	11.0	11.0	10.8	10.8	10.8	7.6	5H40	15.0	10H14
850130	10.0	10.0	10.0	9.5	9.5	9.4	10.8	10.8	11.0	11.0	11.0	11.3	11.0	11.0	11.0	10.6	10.6	10.4	10.4	10.4	10.4	10.0	10.0	10.0	9.0	5H40	12.8	11H29
850131	9.8	9.7	9.8	9.8	9.8	9.8	10.8	10.8	11.2	11.2	11.2	11.4	11.4	11.4	11.4	10.8	10.8	10.8	10.8	10.0	10.0	9.8	9.8	9.8	9.0	1H20	12.5	11H10

Figure 5 - Copie d'un listing du Bulletin météorologique mensuel informatisé, correspondant aux températures obtenues pendant la vague de froid de janvier 1985.

MUSÉE OCÉANOGRAPHIQUE DE MONACO

SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE

	7 h. m.	2 h. s.	6 h. s.
Date :	23 Janvier 1932		
Hauteur barométrique (en millim.) (ramenée à 0° et au niveau de la mer).....	771.2	771.1	772.7
Température (éch. centigrade).....	9.6	13.0	13.6
Température maximum de la journée			13.7
Température minimum de la nuit précédente.....			8.9
Etat hygrométrique.....	91	71	40
Pluie tombée depuis 24 heures (en millimètres).....	00		
Direction du vent.....	WSW	WSW	NNE
Vitesse du vent (en mètres, par seconde).....	0.2	1.2	2.3
Insolation (durée en heures et dixièmes)	0		

FIGURE 6 - Observations journalières faites au Musée Océanographique : ces mesures étaient reportées sur un carnet puis recopiées sur les bulletins mensuels.

J. Richard, délégué à Louis Sirvent, assistant puis sous-directeur du Musée, la responsabilité du Service météorologique.

A partir de 1947, et jusqu'à sa disparition c'est Jules Vernet qui dirige la station. Il publie en 1952 la synthèse de « 40 ans d'observations météorologiques à Monaco ». Dans cet ouvrage, chaque paramètre est étudié en détail tant au point de vue des moyennes que des valeurs exceptionnelles observées depuis 1911.

Le Commandant Louis Grinda prend ensuite la relève et conserve la responsabilité de la station météorologique jusqu'en 1977.

En 1960, S.A.S. le Prince Rainier III de Monaco crée le Centre Scientifique de Monaco, dont dépendra désormais l'Observatoire de Météorologie.

En 1966, tous les appareils sont regroupés sur la terrasse du Musée océanographique.

A partir de 1971, le Commandant Grinda commence avec l'aide de ses assistants : Mademoiselle Suzy Galliot, Messieurs Georges Gastaldy et Alain Vatrican, une étude statistique des soixante ans d'observations météorologiques au Musée. Malheureusement, cette étude ne sera ni publiée, ni même terminée du fait d'une restructuration du personnel au Centre Scientifique de Monaco.

De 1973 à 1977, le Bulletin mensuel n'est plus édité mais certaines mesures sont encore effectuées et conservées en archives.

Pour cette période, où les observations sont discontinues, nous avons utilisé les informations recueillies au Jardin exotique, ainsi que les notes transmises par un monégasque amateur de météorologie, Monsieur Jean-Charles Campana, qui relevait alors les températures journalières enregistrées à la Condamine (1) et notait fidèlement toutes les observations qu'il pouvait faire (nébulosité, direction et intensité du vent, etc.).

L'édition du « Bulletin météorologique mensuel » reprend en 1977. Celui-ci est à nouveau communiqué au service météorologique français (Nice).

Au cours de l'année 1984, le Centre Scientifique se dote d'une station météorologique avec enregistrement magnétique. Six paramètres : la température de l'air, la vitesse et la direction du vent, la pression atmosphérique, la pluie et l'insolation, sont enregistrés toutes les dix minutes. Ainsi se constituent des fichiers dont les données peuvent être directement corrélées avec les mesures océanographiques effectuées par ailleurs. Le bulletin météorologique mensuel est désormais traité par ordinateur et imprimé sous forme de moyennes horaires et trihoraires.

Entre ce bulletin informatisé et les premiers résumés mensuels soigneusement calligraphiés (Figures 3, 4 et 5) soixante-quinze ans ont passé ! L'histoire de l'Observatoire est révélatrice de l'évolution de la science et de la mentalité des hommes pendant ces trois quarts de siècle. Nous ne pouvons que rendre hommage à toutes les personnes du Musée qui ont, pendant des années, recueilli avec tant de soin ces observations. Un formulaire spécial était rempli chaque jour et à la fin du mois, les mesures étaient consignées dans les Bulletins (Figure 6) ; ce sont ces derniers qui ont servi de base pour notre synthèse. Mais plus qu'une froide énumération de chiffres, c'est toute une chronique des faits exceptionnels météorologiques ou non, que nous retrouvons.

Nous apprenons ainsi qu'il y eut une éclipse de soleil en avril 1912 et une éclipse partielle le 29 juin 1927 à 6 heures du matin, une éclipse totale le 15 février 1961 à 8 h 35, qu'il y eut un arc-en-ciel sur le mont Agel le 10 décembre 1923 et un coup de foudre sur le Musée le 21 septembre 1927. Le 27 juin 1927, un fort orage provoqua un incendie à l'Imprimerie de Monaco et des dégâts importants à l'aquarium du Musée. Un article du « Petit Niçois » qui souligne la chaleur insolite du mois de mai 1937 est joint au Bulletin météorologique (Figure 7). Au mois d'août 1937, une trombe d'eau est décrite en détail (Figure 8). En parcourant les bulletins nous apprenons aussi qu'il y eut de la grêle (la taille des grêlons est même précisée) le 26 octobre 1939, le 4 novembre 1939, le 24 novembre 1969, le 18 août 1979. Bien avant l'installation de la station sismologique, les bulletins nous signalent les secousses sismiques ressenties le 22 mars 1935 à 1 h 30, le 18 juillet 1938 dans la nuit, deux secousses le 23 février 1941. Les bulletins nous parlent également d'une tornade le 29 septembre 1947 qui fit de nombreux dégâts sur toute la côte...

(1) Quartier de Monaco, situé près du port.

"Petit Nicot" du 21 mai 1937

5 de mai 1937

Un vent très chaud
suivi d'une petite pluie, a soufflé
hier, sur Nice

MAIS, AILLEURS, ON ENREGISTRE
TORNADES ET CHUTES DE NEIGE
Il faisait hier, dans la ville, une
chaleur étouffante. On respirait difficilement : l'air manquait, les poumons,
semblait-il, travaillaient à vide. Et il
était brulé que d'un fameux sirocco
il se serait abattu sur la ville, après
avoir pris ses ébats dans les sables de
Algérie.

Nous nous sommes renseigné. Ce
fut pas un sirocco et l'Algérie n'a
eu à voir dans cette affaire.

M. E. Giacobini, l'aimable et savant
aéronomiste de la Ville de Nice,
a donné tous renseignements sur
le phénomène qu'il a observé hier et
qui ne s'était pas produit, paraît-il,
depuis de longues années.

Le vent desséchant dont nous avons
souffert hier est un vent d'Est,
à vent froid, par conséquent. Mais,
tourné par la Libye, il aurait pris
la chaleur dans les sables de cette
péninsule.

Voilà l'Italie fort compromise en
cette affaire !

À moins que... car ces questions
sont toujours délicates, le vent d'hier
a dérobé des calories au sol bien
au-delà de notre région. On se rap-
te, en effet, qu'il avait fait, les

jours précédents, une température
exquise sur la Côte d'Azur.

Quoiqu'il en soit, la température
atteignit 27° en son point maximum
et le matin, vers 10 heures, une petite
pluie de boue s'abattit sur la ville. Les
automobilistes remarquèrent bien cer-
tainement ce phénomène qui mit sur
les capots sombres des véhicules de
petites taches poussiéreuses.

Dans la soirée, le vent, qui avait
atteint la vitesse de 17 mètres-seconde,
se ralentit légèrement et tomba à
14 mètres, puis à 10.

Nul doute qu'aujourd'hui nous n'ayons
un air frais, qui revigilera nos pou-
mons fatigués par cette déprimante
journée.

D'ailleurs, ne nous plaignons pas
trop. A Mirécourt, une tornade d'une
violence formidable a dévasté toute
la région. Plusieurs maisons ont été
dévastées par un ruisseau transformé
en torrent, des routes ont été coupées
et les stands de la Foire-Exposition,
à l'heure actuelle, sont sous les eaux.

Au Maroc, on a enregistré une tem-
pête de neige qui a causé d'importants
dégâts chez les agriculteurs.

...Sans compter le violent orage qui
s'est abattu mardi sur Paris.

Tels sont les faits. Fort heureuse-
ment, nous n'en sommes tout de même
pas encore là, sur la Côte d'Azur.

L.-R. CHRISTOPHE.

HEURES	OUETTES			NÉBULOSITÉ PARTIELLE de l'ensemble des nuages bas (de 0 à 10).			VISIBILITÉ			ÉTAT DE LA MER			
	à 18 heures			à 7 heures.			à 7 heures.			à 7 heures.			
	Vitesse en mètres par seconde	Direction	Vitesse en mètres par seconde	à 7 heures.	à 13 heures.	à 18 heures.	à 7 heures.	à 13 heures.	à 18 heures.	à 7 heures.	à 13 heures.	à 18 heures.	
12	16.0	17.8	753.8	16.5	17.8	754.0	NE	14	15	16	B	B	B
13	15.5	18.0	753.5	16.0	18.0	753.0	NNW	17	18	19	B	B	B
14	15.1	18.0	752.9	16.0	18.0	752.0	NE	20	21	22	B	B	B
15	17.7	18.0	753.5	16.1	18.0	752.2	E	23	24	25	B	B	B
16	16.3	18.2	752.3	16.3	18.0	751.3	NNE	26	27	28	B	B	B
17	16.2	18.2	752.8	16.0	18.2	752.0	NE	29	30	31	B	B	B
18	15.4	18.3	752.0	16.0	18.4	752.8	SW				B	B	B
19	15.9	18.5	752.6	16.7	18.4	752.0	NE				B	B	B
20	15.0	18.2	752.8	16.5	18.5	752.3	NE				B	B	B
21	15.7	18.5	753.4	16.8	18.7	752.8	SW				B	B	B
22	16.3	18.6	753.0	16.5	18.6	752.5	NE				B	B	B
23	16.3	18.7	751.0	16.0	18.9	751.6	NE				B	B	B
24	16.2	19.8	750.3	16.2	18.9	752.8	SE				B	B	B
25	16.6	18.9	750.2	16.2	19.0	752.2	NE				B	B	B
26	16.1	19.0	750.0	16.0	19.0	751.6	NNW				B	B	B
27	16.2	19.0	750.3	16.2	19.2	751.2	E				B	B	B
28	16.3	19.2	751.0	16.2	19.3	751.3	N				B	B	B
29	16.3	19.6	751.4	16.3	19.7	750.9	N				B	B	B
30	16.3	19.8	750.9	16.3	20.0	750.5	E				B	B	B
31	16.3	20.0	751.1	16.3	20.0	752.8	E				B	B	B
TOTAL	X												
Moyenne	X												

Indiquer ici quelle est l'échelle adoptée pour évaluer la force du vent (échelle de Beaufort ou échelle de mètres par seconde) et la vitesse (mètres par seconde ou kilomètres à l'heure).

FIGURE 7 - Extrait du Bulletin de mai 1937 (archives de l'Observatoire de Météorologie).

LE TEMPS EN MEDITERRANEE OCCIDENTALE

Les différentes situations météorologiques en Méditerranée occidentale sont dues à la position géographique de la Méditerranée dans le globe, mais le temps observé localement est très perturbé par l'influence orographique : ce fait majeur explique la grande complexité et la grande diversité du climat méditerranéen d'une région à l'autre.

a) - Régime général de la Méditerranée

- en hiver :

La Méditerranée se trouve entre l'anticyclone atlantique des Açores et l'anticyclone froid d'Asie qui atteint l'Europe occidentale. Elle se présente comme une zone de pressions relativement basses, à faible gradient, avec un minimum relatif sur la mer Tyrrhénienne. Elle peut aussi être influencée par la dépression Atlantique et être intéressée par des masses d'air froid, arctique ou polaire, venant de l'Atlantique, d'Europe ou d'Asie.

Les eaux méditerranéennes forment une masse chaude par rapport à l'air. Ce fort contraste de température entre l'air et la mer, principalement sur les côtes nord, entraîne une rapide modification des caractéristiques des masses d'air froid et un fort développement d'instabilité.

Le golfe de Gênes est en hiver l'un des centres cyclogéniques les plus actifs du globe. Cette situation est due à la position des masses d'air régissant le temps en Europe occidentale (Figure 9) mais est fortement accentuée par l'effet orographique des Alpes et par la forme concave des montagnes et de la côte bordant ce golfe.

- en été :

Les cellules anticycloniques de l'Atlantique et du Pacifique se développent tandis que les cellules continentales disparaissent et sont remplacées par des dépressions chaudes. Les zones dépressionnaires océaniques sont très affaiblies.

La Méditerranée se trouve sur la face est de l'anticyclone atlantique (Figure 10) qui se prolonge jusque vers la Méditerranée orientale par une dorsale à faible gradient. Le courant dominant est donc de nord à nord-ouest sur l'ensemble du bassin.

La température moyenne de l'air est en surface généralement plus élevée que celle de la mer, ce qui augmente la stabilité des masses d'air.

b) - L'influence de la topographie

La topographie locale modifie beaucoup, dans une région donnée, les conditions météorologiques prévues à l'échelle synoptique. En particulier, les vents dominants sont dus à cette topographie. Les hauts reliefs situés juste derrière les côtes de la Méditerranée occidentale constituent des barrières aux

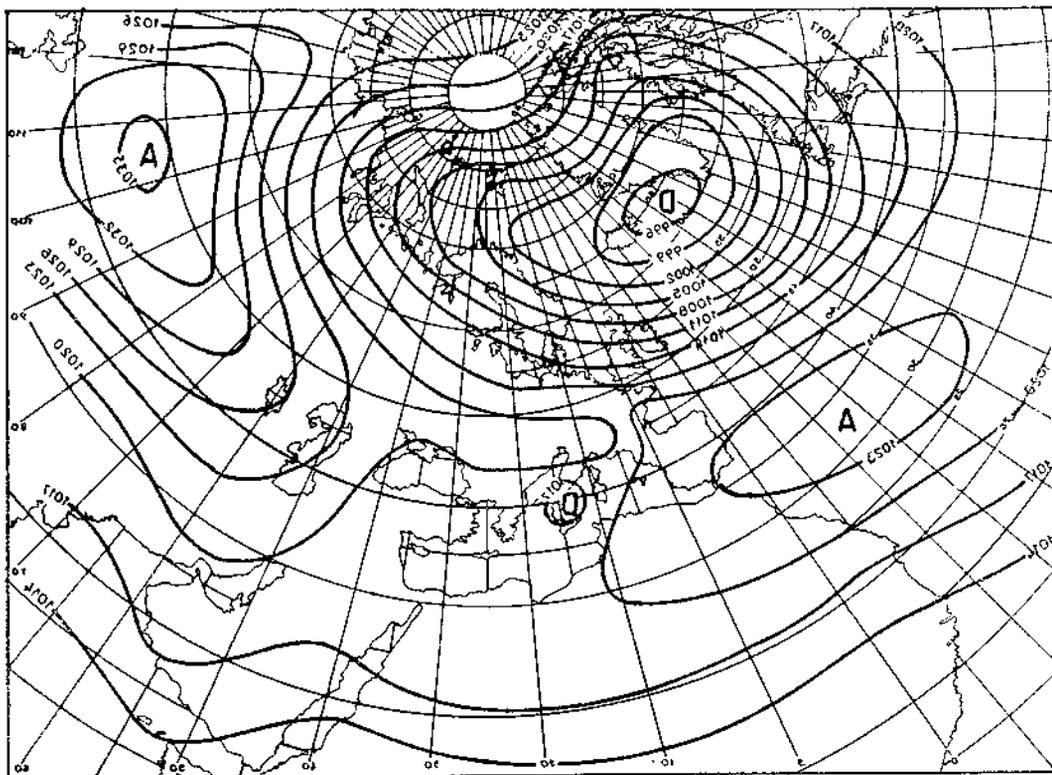


FIGURE 9 - Répartition des pressions sur le bassin méditerranéen en hiver, repris de M. Beranger (1955).

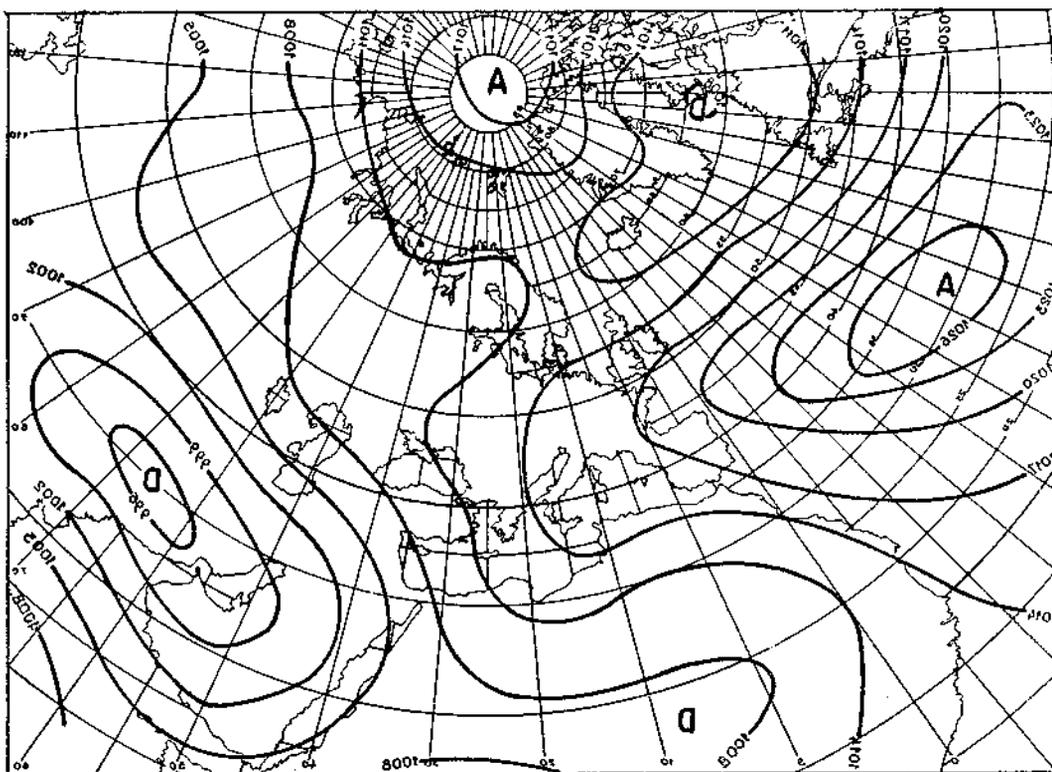


FIGURE 10 - Répartition des pressions sur le bassin méditerranéen en été, repris de M. Beranger (1955).

masses d'air et les couloirs situés entre ces reliefs imposent la direction des vents dominants. L'un des principaux passages de ces masses d'air est la vallée du Rhône — entre les Alpes et le Massif Central ouvrant sur le golfe du Lion. A l'est, les Appenins séparent le bassin ouest de l'Adriatique. Au sud, de la Tunisie au Maroc, le système de l'Atlas forme une importante barrière. Le détroit de Gibraltar, par contre, joue le rôle d'un couloir entre deux chaînes de montagnes reliant l'Atlantique et la Méditerranée. La Sierra Nevada et les Pyrénées modifient également beaucoup la circulation atmosphérique. Cependant, si le flux d'air, lié aux champs de pression, est suffisamment fort, il passe cette barrière montagneuse et des vents forts provoquent un phénomène de Föhn dans les plaines.

Les principaux passages des masses d'air froid sont la vallée du Rhône et le seuil de Naurouse ; dans une moindre mesure, le détroit de Gibraltar et le plateau de la Nouvelle Castille, au centre de l'Espagne. L'air froid d'origine russe peut pénétrer par les Dardanelles ou par le nord de l'Adriatique (Trieste, Fiume) et la plaine du Pô.

Le principal passage des masses d'air chaud, d'origine saharienne, en Méditerranée occidentale est la région des Chotts dans le sud tunisien et la Tripolitaine. Il faut cependant noter que l'air chaud ayant peu de difficultés à franchir les reliefs, l'air saharien peut pénétrer en Méditerranée directement par-dessus l'Atlas (situation à « Sirocco »).

c) - Les perturbations

La figure 11 schématise les principales trajectoires des perturbations traversant la Méditerranée occidentale et indique la période où ces trajectoires sont les plus fréquentes (la fréquence relative des trajectoires est indiquée par l'épaisseur de la flèche).

- *Perturbations du golfe de Gênes*

Ce sont les perturbations les plus nombreuses, environ la moitié des perturbations intéressant la Méditerranée. Lorsqu'un front froid ou une occlusion à caractère froid progresse vers les Alpes, venant du nord-ouest, il y a alors la formation d'une dépression soit sur le golfe de Gênes, soit sur la plaine du Pô. Plusieurs facteurs semblent jouer un rôle important dans le développement de ces dépressions :

D'abord, le contraste thermique entre la terre et la mer, ce qui affecte le champ de pressions et son développement. Pendant la saison froide, les eaux de la Méditerranée sont plus chaudes (13° C) que la surface du continent ce qui produit une instabilité sur le bassin méditerranéen. L'intensité du creusement et de la perturbation dépend ensuite des masses d'air en présence, de manière générale de l'interaction entre le front polaire et le flux d'air subtropical. La présence des Alpes renforce l'activité cyclonique le long de ses pentes méridionales et bloque l'air froid sur sa bordure septentrionale.

- *Perturbations des Baléares*

La plupart d'entre elles se forment à l'est de l'Espagne, près des Baléares, le plus souvent par ondulation sur un front venant de nord-ouest. Sur la partie nord et est de la dépression, il y a de nombreux nuages moyens en couches épaisses, doublés de nuages bas avec des pluies étendues et durables. Les principales trajectoires de ces perturbations sont nord-ouest et ouest. Elles n'intéressent donc que la Méditerranée occidentale et, quelquefois, l'ouest de la Méditerranée centrale. Elles sont responsables du plus mauvais temps rencontré sur cette partie de la Méditerranée et particulièrement sur le nord.

- *Perturbations du nord-ouest de l'Afrique*

Ces perturbations se forment soit sur le littoral de l'Afrique du nord, soit sur l'intérieur au sud de l'Atlas. Lorsqu'il y a des pressions relativement élevées sur l'Europe, il y a sur le nord-ouest de l'Afrique une zone frontale diffuse entre l'air polaire qui a récemment traversé la Méditerranée et l'air tropical continental ou l'air qui a été modifié par un séjour sur le continent africain. Il se produit alors une ondulation avec creusement d'une dépression. L'air chaud d'une telle perturbation est constitué soit par de l'air tropical continental, soit par de l'air polaire modifié, il est donc très sec sur l'Afrique, mais sur la Méditerranée, où l'air s'est humidifié, il peut se produire quelques pluies au nord de la dépression.

d) - Régime des vents en Méditerranée occidentale

* Les vents les plus forts sont ceux à composante nord-ouest qui se développent le plus souvent en régime de hautes pressions sur la péninsule ibérique ou les Alpes et de basses pressions sur la mer du Nord. Ce sont le Mistral, surtout soufflant des Alpes par la vallée du Rhône, puis la Tramontane, issue des Pyrénées et le Grégal qui est une composante nord-est de ces vents.

Ils peuvent atteindre des forces 8 à 10 et provoquer, surtout dans le golfe du Lion, une mer forte (vagues de plus de 4 mètres). Ce régime s'étend généralement des Baléares à la Corse.

Les autres vents importants sont :

- le vent d'est (*Levante*) qui apparaît avec un régime de hautes pressions en Europe et de basses pressions en Afrique. Deux situations peuvent se produire, l'une donne le Bora (ENE) sur la Yougoslavie et l'Italie, l'autre un vent de sud en Sicile.

- les vents de sud (*Sirocco*) et sud-est sont dus à des basses pressions sur la péninsule ibérique.

- les vents de sud-ouest : (*Abrego* au centre de l'Espagne, *Lebeciũ* sur les côtes méditerranéennes) sont souvent liés à un front dépressif passant de l'Atlantique à la Méditerranée.

NB. Pour plus de détails sur la climatologie de la Méditerranée, voir par exemple A. Beranger (1959), R. Mayençon (1982), R. Margaleff (1985).

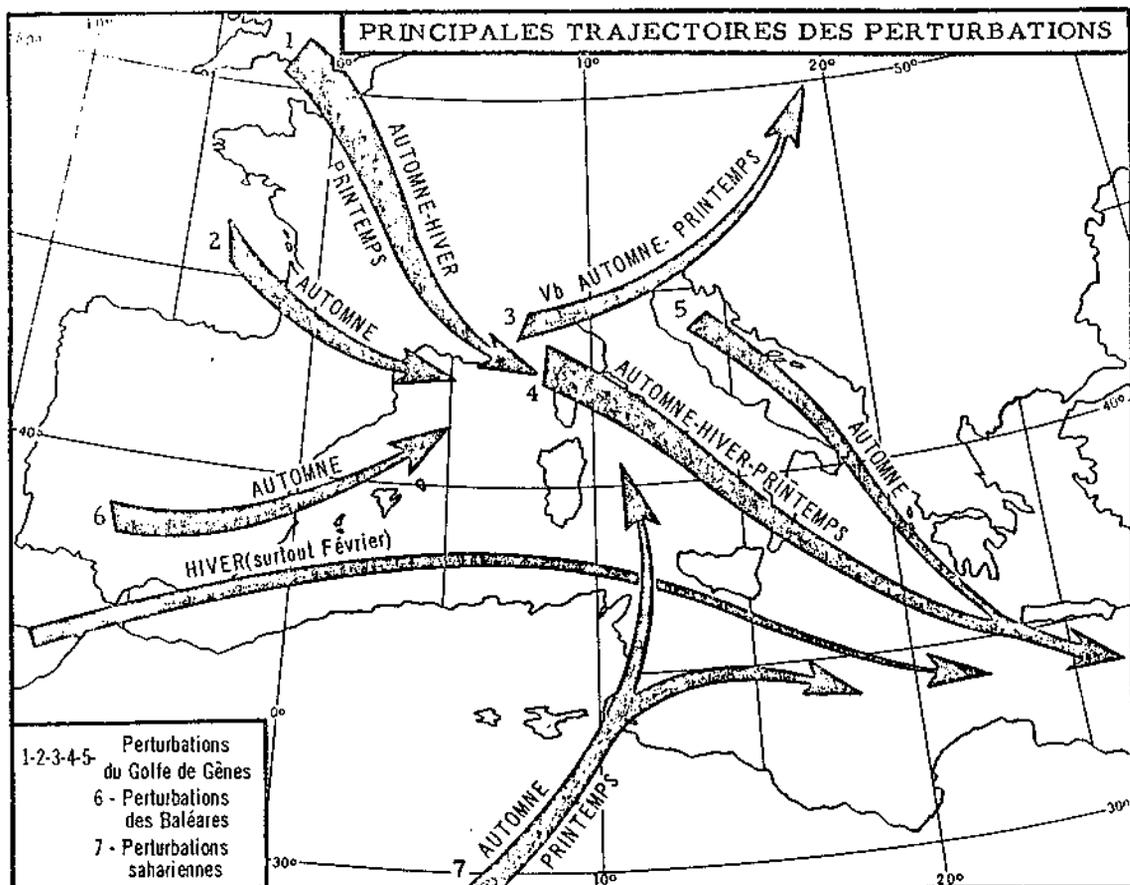


FIGURE 11 - Trajectoire des perturbations sur la Méditerranée, repris de M. Beranger (1955).

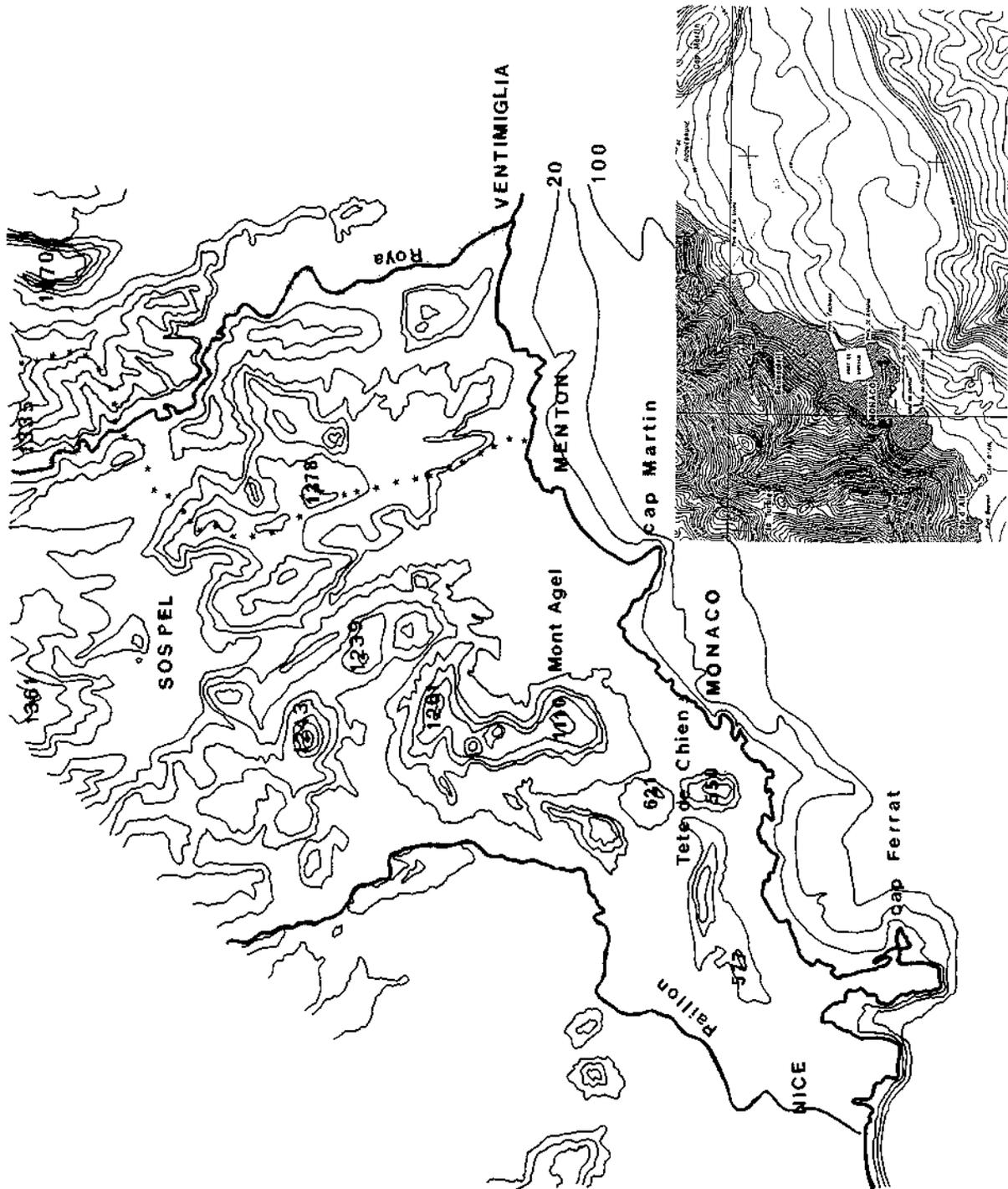


FIGURE 12 - Carte topographique et bathymétrique de Nice à Vintimille. (Ne sont notés que les reliefs supérieurs à 500 m). Dans le cartouche : carte plus détaillée pour la Principauté ; 1. Musée Océanographique ; 2. Jardin Exotique.

CLIMATOLOGIE DE LA COTE D'AZUR

Afin de mieux comprendre les caractéristiques propres du climat monégasque, il est présenté dans ce chapitre une rapide synthèse de la climatologie de notre région, provenant des études du bulletin de la Commission météorologique, publié régulièrement par le « Service météorologique départemental de Nice ».

Nous rappelons que l'orographie très complexe du bassin méditerranéen exerce une influence très importante sur la climatologie locale et peut modifier notablement les flux atmosphériques sur des échelles allant de 10 à 100 km. La climatologie des Alpes-Maritimes sera donc fonction principalement de la situation de cette région et de sa topographie particulière (Figure 12). Comme son nom l'indique si bien, elle est à la fois région alpine et région maritime. Le département des Alpes-Maritimes, de par son orographie très accidentée, est le lieu de climats très diversifiés. Entre Nice et Menton, les reliefs s'échelonnent entre 500 et 700 m et descendent rapidement jusqu'à la mer. Par contre, à l'ouest du Var, la côte est plate et sablonneuse, morphologie qui n'aura pas la même influence sur le climat. Vers le nord, c'est le domaine de la moyenne montagne découpée par des vallées encaissées. Puis à une vingtaine de kilomètres de la côte, c'est le domaine de la haute montagne avec des sommets culminant à environ 2.000 m.

Ainsi cette diversité du relief favorise l'installation d'une multitude de microclimats. Cependant, la comparaison des principales variables climatologiques en France permet de dégager les caractéristiques de cette région :

1 - LA PLUVIOMETRIE

Les figures 13 et 14 fournissent la répartition des hauteurs de pluies et le nombre de jours de pluie enregistrés en France. Ainsi, au cours d'une année moyenne, la pluviométrie dans notre région présente les caractères suivants :

- hauteur d'eau annuelle parmi les plus importantes de France ;
- nombre de jours de pluie inférieur de la moitié environ, par rapport aux autres régions.

Ainsi, les précipitations sont rares mais intenses : c'est là une des principales caractéristiques du climat méditerranéen où les hauteurs d'eau peuvent égaler en une seule journée la quantité obtenue en un mois dans le nord de la France.

Par rapport aux régions avoisinantes (Bouches-du-Rhône, Var,...), situées à une latitude inférieure, la Côte d'Azur est une zone plus orageuse directement liée à la présence de reliefs abrupts.

Un autre fait remarquable est l'extrême variabilité des précipitations d'une station météorologique à l'autre, liée aux différences d'altitude ou à l'environnement topographique. Le tableau I précise la comparaison évoquée plus haut et souligne la disparité des hauteurs de pluie obtenues dans la région.

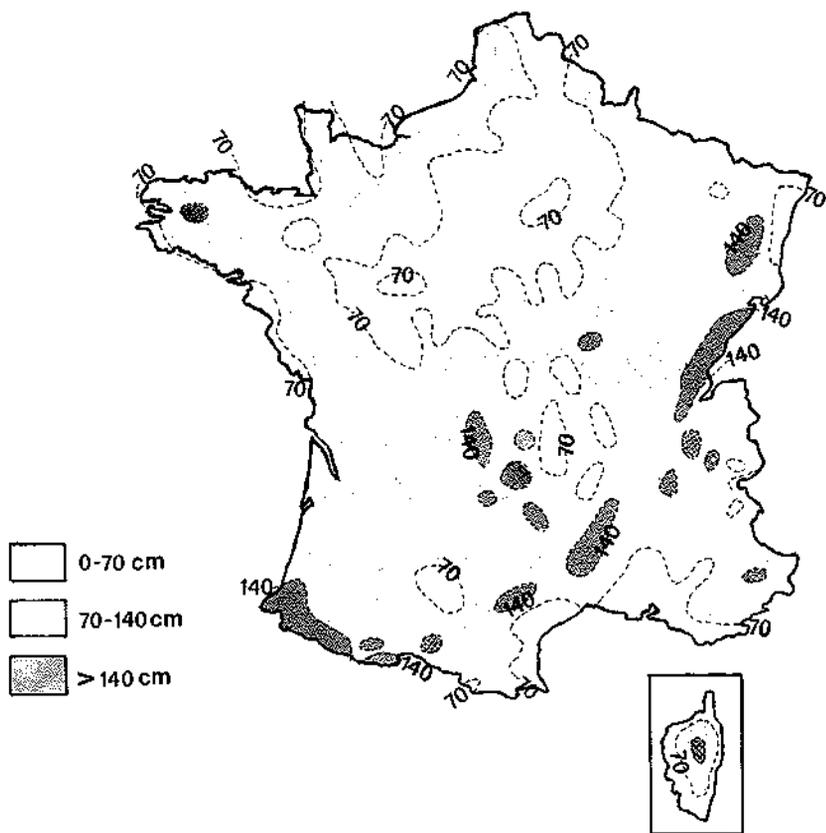


FIGURE 13 - Hauteurs de pluies moyennes observées en France entre 1931 et 1960, repris de R. Arlery (1979).

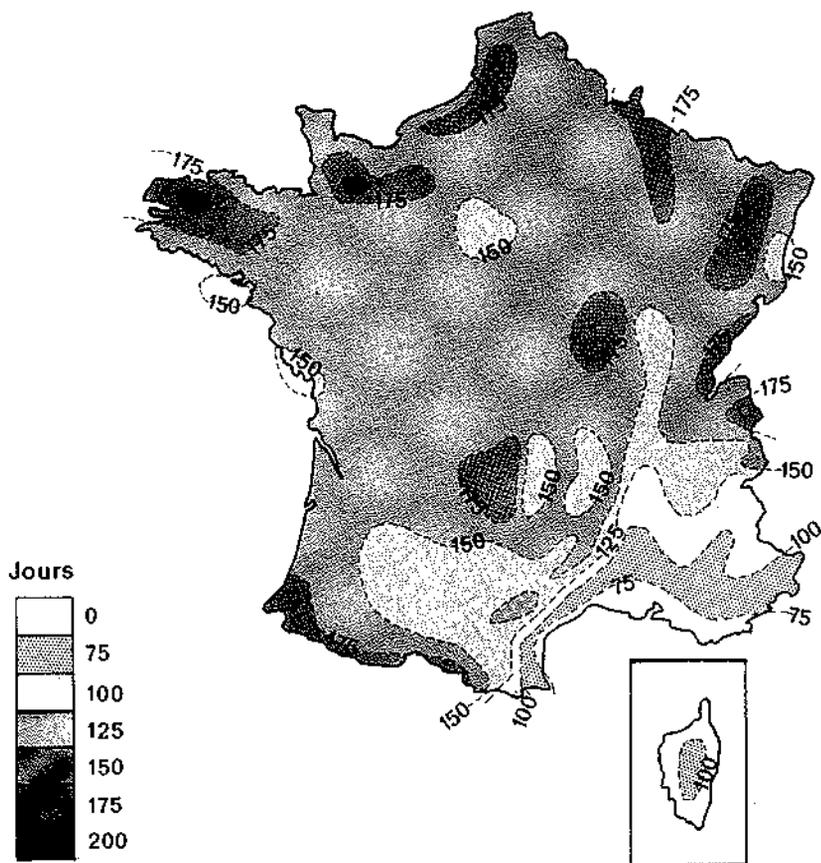


FIGURE 14 - Nombre moyen de jours de pluies en France entre 1931 et 1960, repris de R. Arlery (1979).

2 - LES TEMPERATURES

Le tableau II fournit respectivement les températures minimales et maximales mensuelles enregistrées dans les mêmes villes ainsi que les amplitudes annuelles de ces températures. Il montre que dans les Alpes-Maritimes, les températures moyennes mensuelles sont largement supérieures à celles des autres villes de France. Les températures minimales absolues descendent rarement sous 0° C, ce qui est par contre le cas dans toutes les autres régions de France et en particulier l'Alsace. En contrepartie, les températures maximales absolues sont en France, supérieures à celles enregistrées dans les Alpes-Maritimes, lieu toujours tempéré par la brise de mer. De ce fait, l'amplitude de la température sur la Côte d'Azur est très inférieure à celle des autres régions de France.

Ainsi la Côte d'Azur, à l'abri de fluctuations météorologiques générales, ne connaît pas de variations de température spectaculaires lors des hivers qui se montrent très rigoureux partout ailleurs. C'est le seul secteur de France où les températures moyennes mensuelles n'ont jamais été inférieures à 8° C environ.

Le climat tempéré de type maritime méditerranéen préserve la région :

- des basses températures lors des grandes périodes froides hivernales ;
- des températures excessivement élevées lors des grandes périodes chaudes de l'été.

3 - INSOLATION

Le tableau III fournit les durées d'insolation en heures dans les mêmes villes.

Même au cours des mois pluvieux, c'est sur la côte méditerranéenne que l'on note la plus forte insolation de France ; en fait, le Mistral qui chasse ces perturbations est toujours accompagné d'une très forte insolation.

Sur la figure 15 est reportée la valeur moyenne de la durée d'insolation calculée sur quinze ans. Cette carte illustre la situation privilégiée de cette région.

4 - LES VENTS

On retrouve dans la région les principaux vents caractéristiques du bassin méditerranéen :

Le Mistral ou *Mistrau* en monégasque, est une composante sud-ouest du Mistral soufflant en Provence. Du fait de son orographie, cette région est particulièrement abritée des vents forts et froids, soufflant plus à l'ouest du bassin méditerranéen.

Le vent d'est ou *Levante* qui est le vent le plus fréquent, souffle presque aussi souvent que tous les autres vents réunis. Il amène souvent la pluie comme l'illustre le proverbe monégasque (Figure 16).

Le vent de sud-ouest ou *Lebeciū* est un vent violent qui soulève une mer très forte et peut provoquer des dégâts à la côte.

Le *Sirocu* est un vent peu fréquent qui amène des pluies de sable et qui est chaud et humide.

La rose des vents soufflant à Monaco ainsi que les proverbes issus des traditions monégasques sont présentés sur la figure 16.

5 - CONCLUSION

Cette rapide analyse illustre donc déjà le caractère privilégié du climat de la région par rapport aux climats du reste de la France. Nous allons maintenant étudier plus en détail chaque paramètre météorologique enregistré à Monaco depuis soixante-quinze ans.

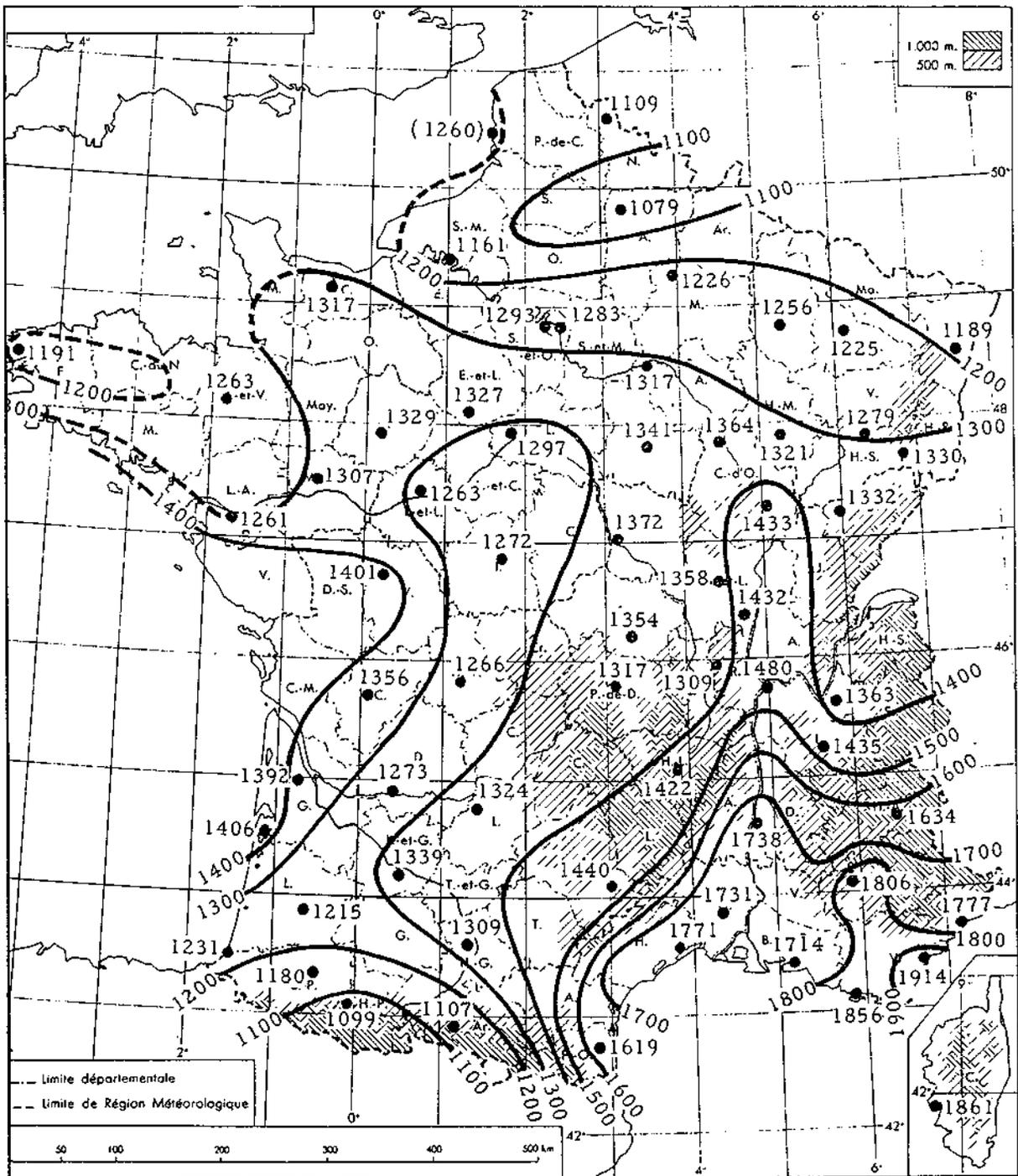


FIGURE 15 - Durée d'insolation du 1^{er} avril au 30 septembre pendant les quinze années 1946-1960 (monographie n° 24 de la Météorologie Nationale).

	Quantité (mm)	Nb de jours
Lille	637.0	177
Paris-Montsouris	630.4	161
Marignane	568.8	81
Nice	873.0	89
Saint-Jean Cap-Ferrat	739.7	82
Beuil (1480 m)	1147.2	89

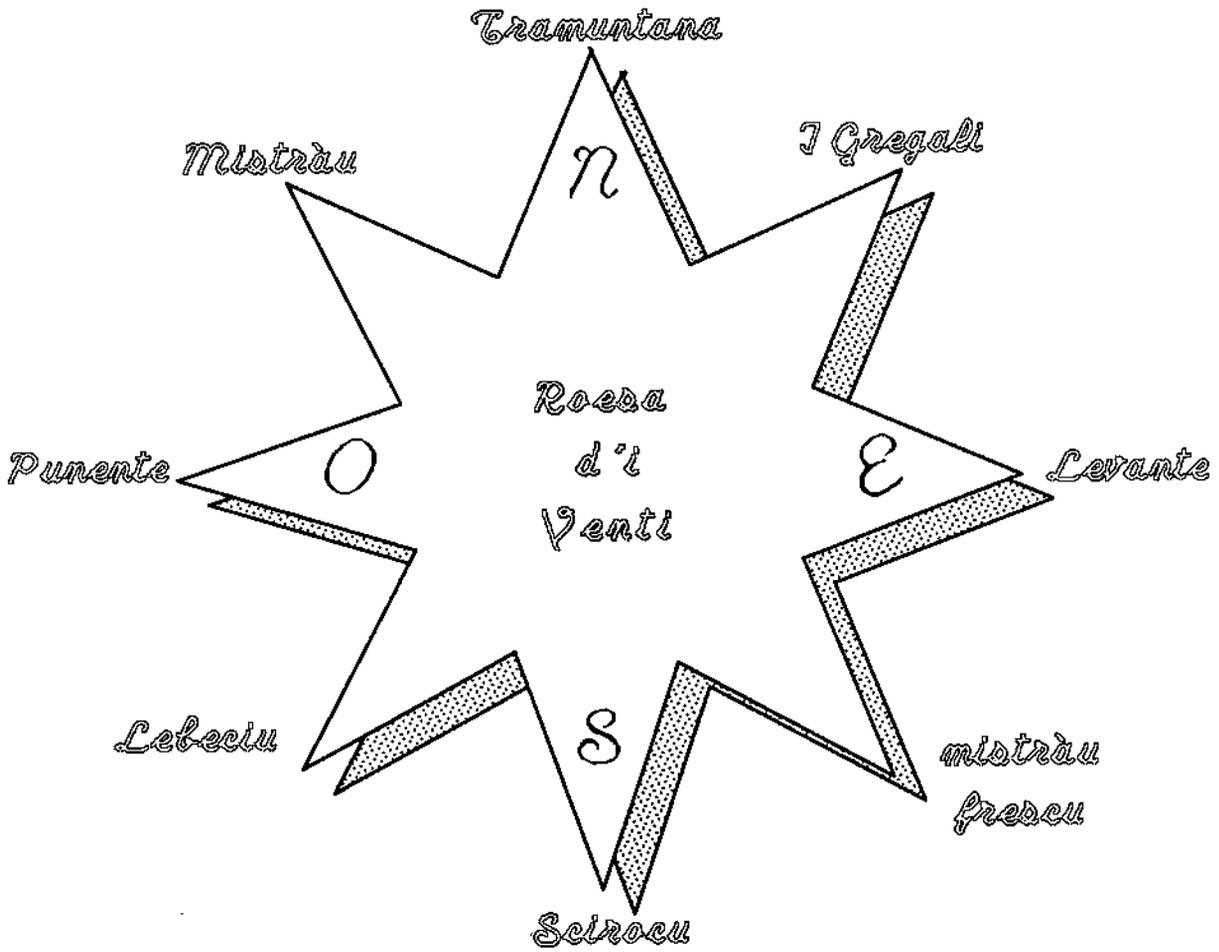
Tableau I : *Hauteur annuelle des précipitations*
Moyennes de la Météorologie Nationale : (1951-1980 : normales climatologiques, Tomes I et II, 1986)

	T° max.	T° min.	Min. Abs	Max. Abs
Lille	12.4	4.7	- 22.1	34.6
Paris-Montsouris	15.0	8.0	- 14.7	38.0
Marignane	19.2	9.9	- 16.8	37.0
Nice	18.8	11.3	- 05.0	35.8
Roquebrune Cap-Martin	20.3	11.1	- 03.6	34.4
Auron (1610 m)	11.3	2.7	- 20.0	34.2

Tableau II : *Températures annuelles moyennes*
Moyennes de la Météorologie Nationale (1951-1980 : normales climatologiques, Tomes I et II, 1986)

Lille	1574
Paris	1833
Marseille	2791
Nice	2778

Tableau III : *Durée moyenne de l'insolation annuelle en heures*
(1931-1960 : M. Garnier, 1962)



*A Tramuntana è fresca, ma sana.
 I Gregali de Rocabrùna marce u marri tempu.
 U Levante se nun piove è un birbante.
 U Lebeciu dije senza aiga nun me mètu.
 U Mistrau lascia u tempu cume l'ha trovàu.*

FIGURE 16 - Roses des vents soufflant à Monaco ainsi que quelques proverbes issus des traditions monégasques : « La tramontane est fraîche mais saine », « Les grégals de Roquebrune marquent le mauvais temps », « Le levant, s'il ne pleut pas, est un coquin », « Le lebeciu dit : sans eau, je ne m'installe pas », « Le mistral laisse le temps comme il l'a trouvé ».

LES APPAREILS METEOROLOGIQUES AU MUSEE OCEANOGRAPHIQUE DE MONACO

Le principe des capteurs utilisés depuis soixante-quinze ans n'a pas beaucoup évolué. Par contre, le mode d'enregistrement a, lui, beaucoup changé. Pendant longtemps, les mesures étaient relevées par lecture directe plusieurs fois par jour, ce qui exigeait un personnel nombreux (les mesures se font également les jours fériés !) Peu à peu, les enregistrements graphiques ont facilité le travail de l'observateur météorologue.

A l'heure actuelle, le Musée océanographique est doté d'une station météorologique autonome à enregistrement digital. Les valeurs de six paramètres sont enregistrées toutes les dix minutes sur bande magnétique, puis traitées par ordinateur (Figure 17).

1- TEMPERATURE ET HUMIDITE

Pour la température mesurée à une heure précise de la journée, un thermomètre à mercure de type courant, d'une longueur de l'ordre de 30 cm, permet une lecture à 0,1°C près. La détermination du maximum diurne de la température s'effectue à l'aide d'un thermomètre à maximum constitué d'un thermomètre à mercure dont le capillaire est étranglé à la base (principe des thermomètres médicaux). Le thermomètre à minimum est en général un thermomètre à alcool ou toluène, dont le capillaire contient un index mobile qui suit l'extrémité de la colonne quand elle descend. Ce thermomètre doit être disposé en position horizontale.

Pour la détermination du pourcentage d'humidité dans l'air, on utilise un psychromètre (Figure 18). Il est constitué de deux thermomètres dont le réservoir de l'un est entouré d'une fine mousseline imbibée d'eau : l'écart entre les indications des deux thermomètres δt , est d'autant plus faible que l'humidité est forte. Sa valeur est lue sur une abaque fonction de la température et de (δt).

Un thermomètre-hygromètre enregistreur a été aussi longtemps utilisé. Il donnait la variation continue de la température et de l'humidité au cours de la journée.

Jusqu'en 1950, les observateurs lisaient directement les températures et humidités à trois heures fixes de la journée. Ensuite on relevait tous les matins le maximum de la veille et le minimum de la nuit ; l'évolution des températures et du pourcentage d'humidité au cours de la journée était déduite de l'enregistrement graphique.

A l'heure actuelle, la température est fournie par une sonde thermométrique constituée de fil de platine dont la résistance électrique varie linéairement en fonction de la température dans la plage -20° à 50°.

2- LE VENT

Un anémomètre et une girouette sont fixés sur un mât vertical placé sur la terrasse du Musée. La transmission au local d'observation se fait électriquement :

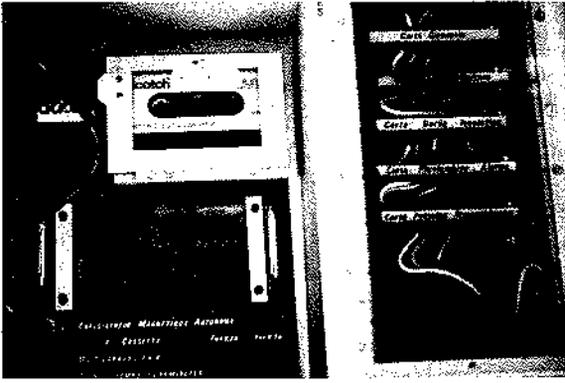


FIGURE 17 - Module d'enregistrement magnétique de la station météorologique automatique.

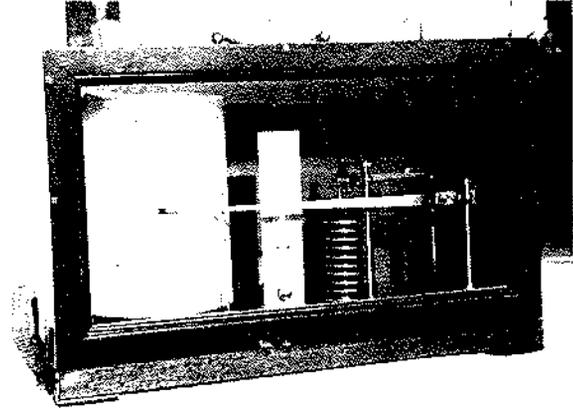


FIGURE 22 - Barographe anéroïde.

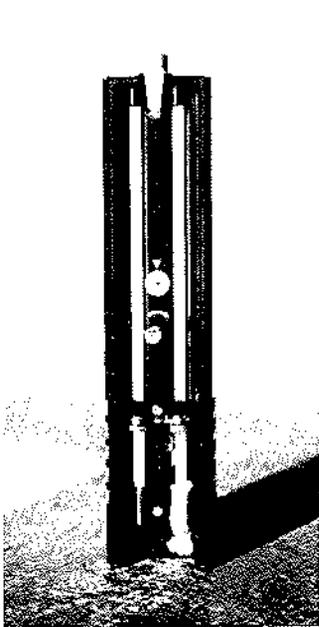


FIGURE 18 - Psychromètre avec ses deux thermomètres.



FIGURE 21 - Pluviographe avec son tambour enregistreur.



FIGURE 23 - Héliographe Campbell.

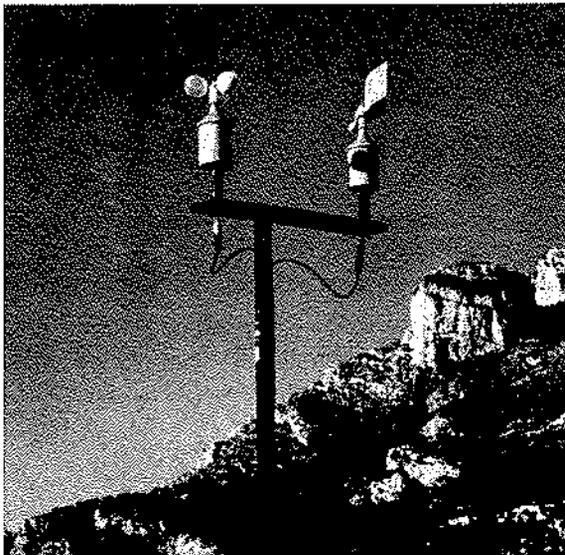


FIGURE 19 - Anémomètre et girouette.

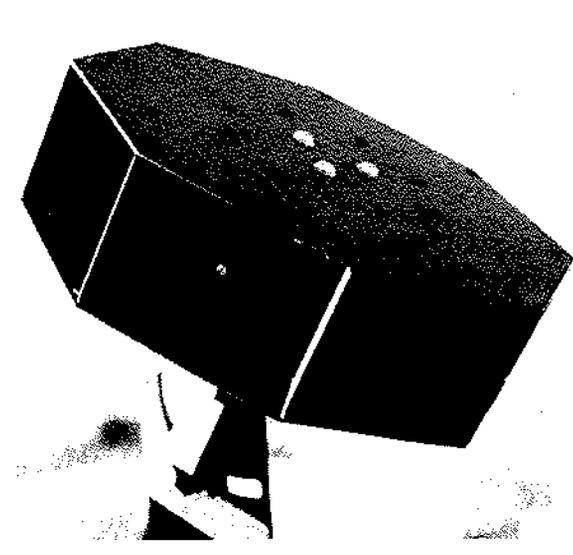


FIGURE 24 - Héliographe à thermopile de type «Précis Mécanique».

- la girouette comprend un transmetteur dont la tête orientable suivant la direction agit par un dispositif de frotteurs sur le collecteur d'un rhéostat à 16 plots isolés entre eux, correspondant aux 16 directions de la rose des vents.

- l'anémomètre utilisé est à moulinet. Il tourne sous l'action du vent, le nombre de tours effectués pendant un temps déterminé est comptabilisé par un compteur électrique.

La figure 19 représente les capteurs encore utilisés actuellement.

La hauteur et la position du mât ont varié au cours de ces soixante-quinze ans : placé à 5 mètres de hauteur en 1911, il fut élevé à 20 mètres en 1979.

3- LA PLUIE

On mesure la masse d'eau tombée sur l'unité de surface horizontale (le cm^2), au cours d'intervalles de temps déterminés. Pour cela, on utilise un pluviomètre à auget basculeur. Son mécanisme est représenté sur la figure 20. L'instrument est constitué par un entonnoir surmontant un récipient mais ce dernier est divisé en 2 augets égaux et peut basculer autour d'un axe horizontal placé au-dessous de son centre de gravité. L'auget en position haute reçoit l'eau recueillie par un entonnoir. Lorsque la masse de cette eau atteint une valeur déterminée, correspondant à 0,5 mm de hauteur de pluie, il bascule en position basse et se vide dans le récipient. C'est alors l'autre auget qui reçoit l'eau et ainsi de suite. Grâce à un dispositif mécanique simple chaque basculement provoque le déplacement d'une plume frottant sur un cylindre et permettant de comptabiliser les basculements (Figure 21).

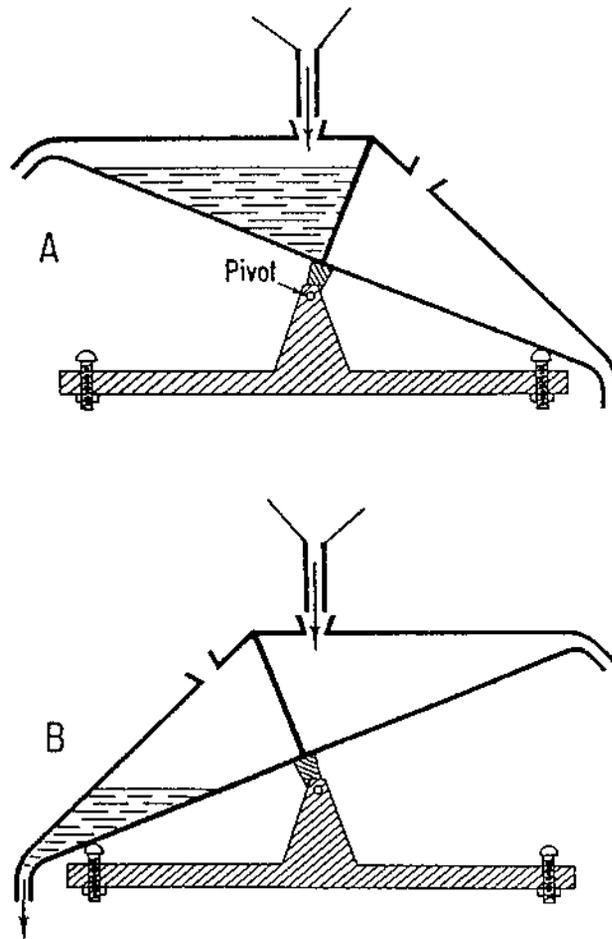


FIGURE 20 - Schéma représentant le fonctionnement du pluviomètre.

4- LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

1- Le premier appareil utilisé (et toujours en fonctionnement) est le classique baromètre à mercure (type Tonnelot), gradué en millimètres de mercure et en millibars. On passe d'une unité de mesure à une autre en respectant l'égalité :

$$765 \text{ mm Hg} = 1020 \text{ mb} = 1020 \text{ hPa}$$

(où hPa est l'hectoPascal, nouvelle unité officielle équivalente à l'ancien millibar).

La pression est fournie en valeur corrigée au niveau de la mer étant donné l'existence d'un gradient de 1 mb par dizaine de mètres d'altitude.

2- Le deuxième type d'appareillage est un barographe anéroïde. L'élément de mesure est constitué par un empilement de capsules métalliques minces et vidées d'air dans lesquelles un ressort résiste à la pression atmosphérique. Les variations de pression se traduisent par une déformation des parois des capsules dont les moindres mouvements sont amplifiés et transmis à une aiguille mobile (Figure 22).

3- Actuellement le microbaromètre différentiel utilisé est fondé sur le même principe mais la sensibilité des capsules a été améliorée et l'enregistrement se fait par création d'un courant proportionnel à la variation de la pression.

5- L'ENSOLEILLEMENT

Dès 1926, la station météorologique du Musée océanographique était dotée d'un héliographe Campbell (Figure 23). Le principe de cet instrument est la concentration des rayons lumineux par une sphère de verre sur la surface interne d'une boule de section sphérique concentrique à la première. Par brûlures du papier, ces rayons laissent une trace sur des cartes de forme spéciale enfilées dans des rainures de la boule. Elles sont graduées en heures et la longueur totale de la trace est proportionnelle à la durée d'ensoleillement.

Actuellement, la mesure de l'ensoleillement se fait par un pyranomètre à thermopile (Figure 24). On mesure le temps pendant lequel l'insolation est supérieure à une valeur déterminée, mesurée en watts.

LES TEMPERATURES

1 – MOYENNE GENERALE

Les moyennes générales des températures ont été effectuées pour les soixante-quinze ans (Tableau I [c]). Elles sont comparées avec les valeurs calculées par J. Vernet (1952) pour la période 1911-1950, puis avec les moyennes correspondant aux trente-cinq dernières années. Les différences observées sont inférieures à l'écart-type calculé sur la série des données et ne nous paraissent pas significatives.

Les amplitudes de variation de la température au cours de la journée sont particulièrement faibles puisqu'elles ne dépassent pas 4° en hiver comme en été.

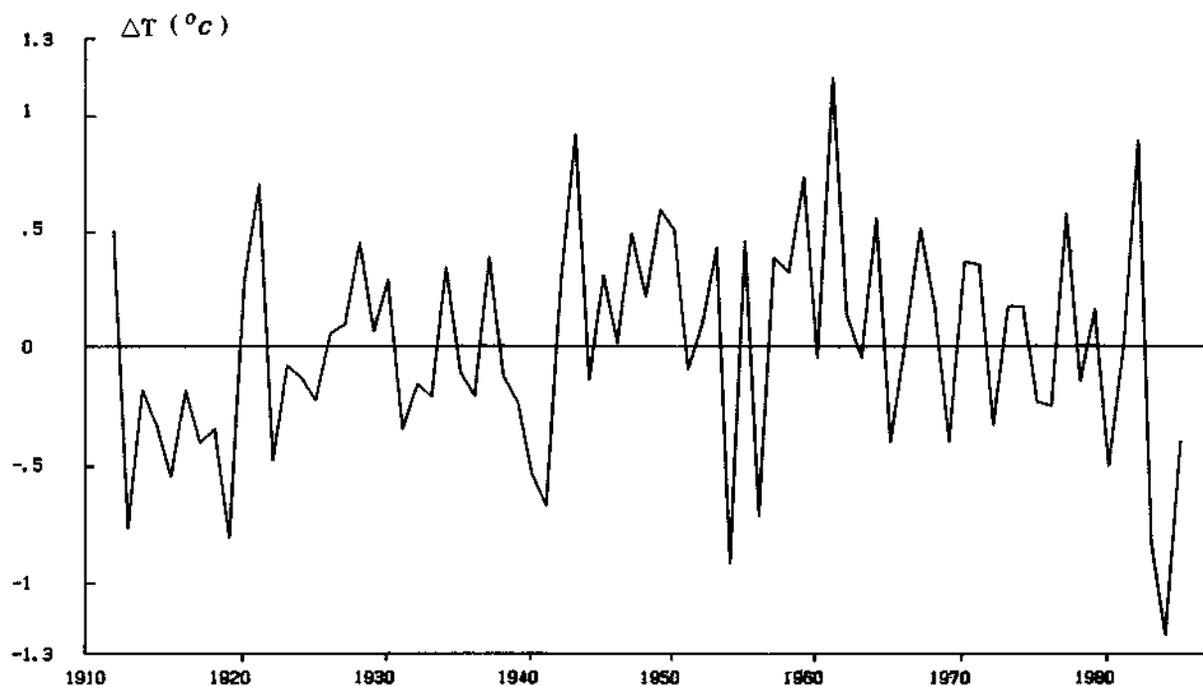


FIGURE 25 - Oscillations de la température moyenne annuelle observée à Monaco. Le zéro correspond à une valeur de : 16,32°C. Les valeurs les plus extrêmes sont 15,10°C (1984) et 17,45°C (1961).

2 - VARIATION DE LA MOYENNE ANNUELLE DES TEMPERATURES

Aucune tendance (augmentation ou diminution régulière des valeurs en fonction du temps) ne peut être déduite de ces moyennes. Nous constatons une stationnarité des températures depuis soixante-quinze ans comme le montre la figure 25, où l'échelle des fluctuations a été très dilatée. D'une année à l'autre, les écarts de température oscillant légèrement autour de la moyenne annuelle, ne dépassent que très rarement un degré.

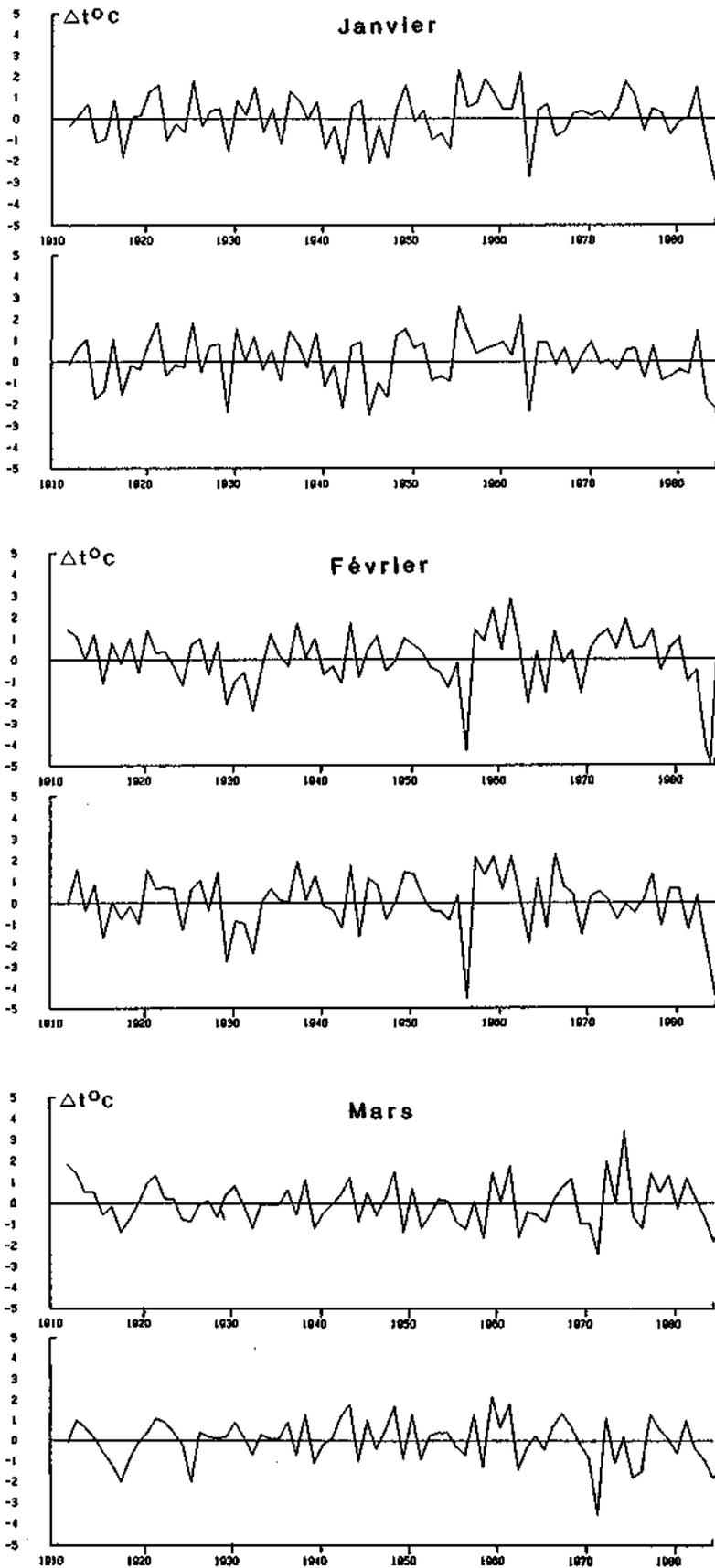
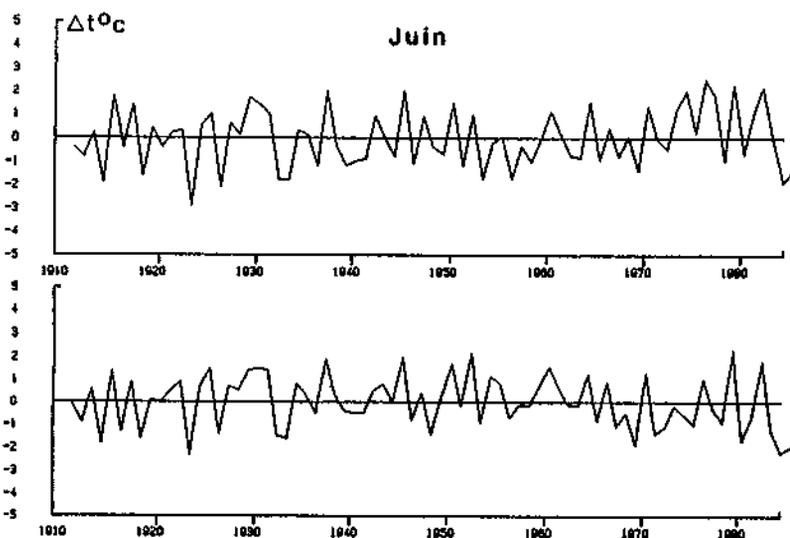
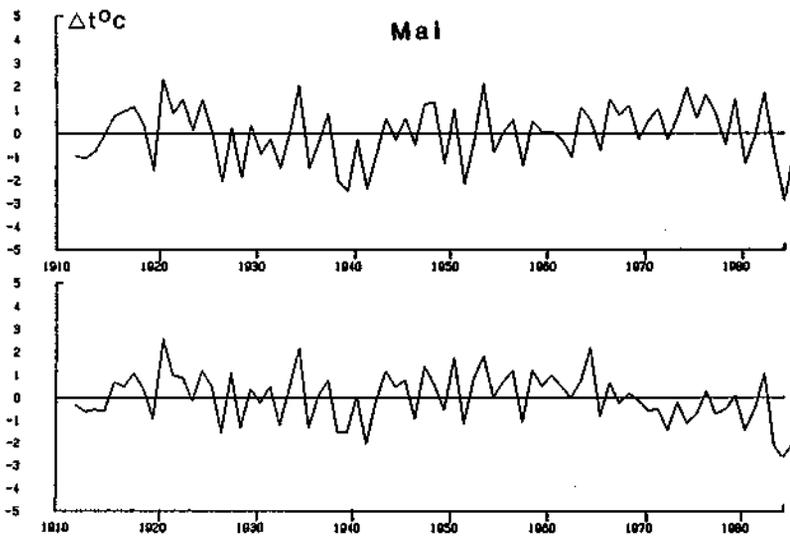
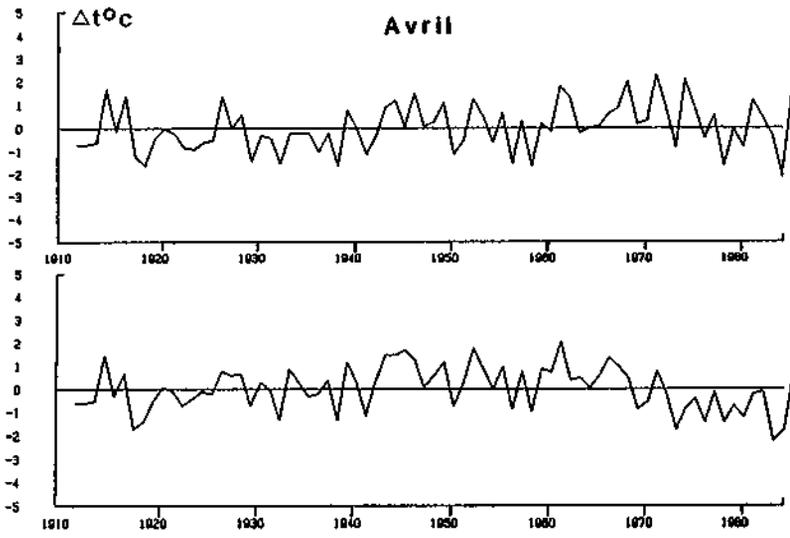
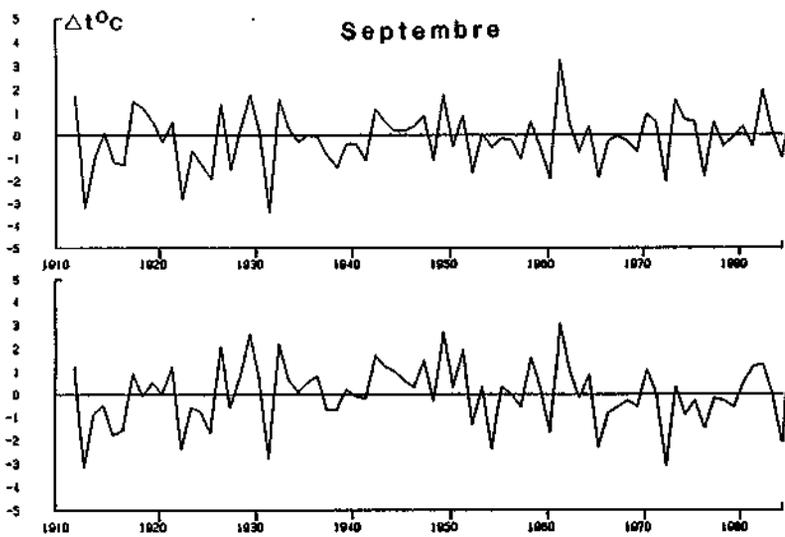
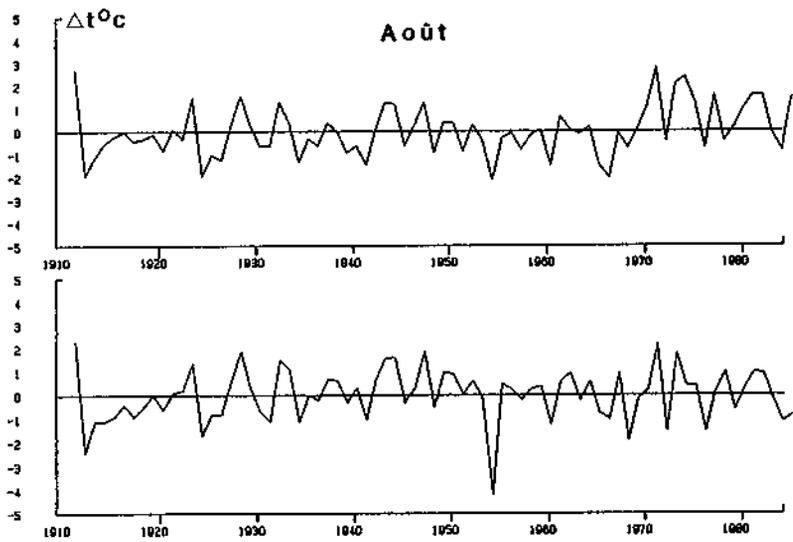
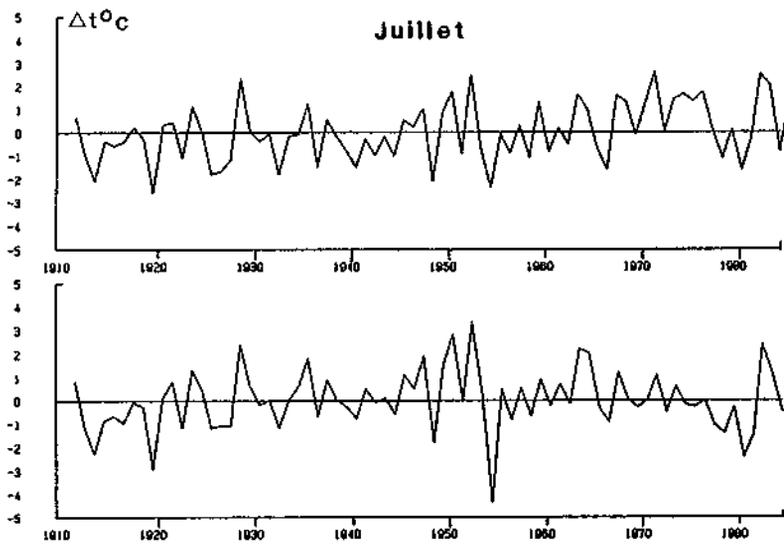
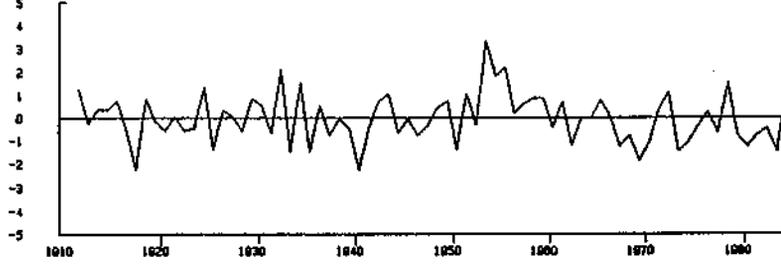
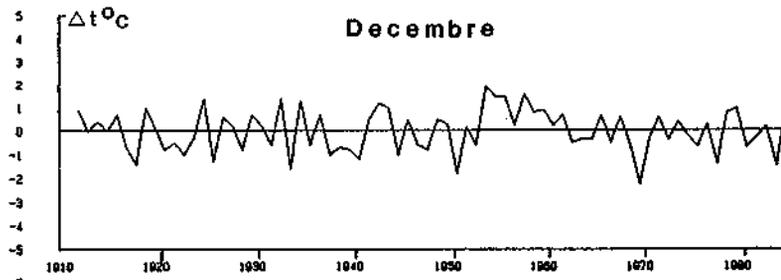
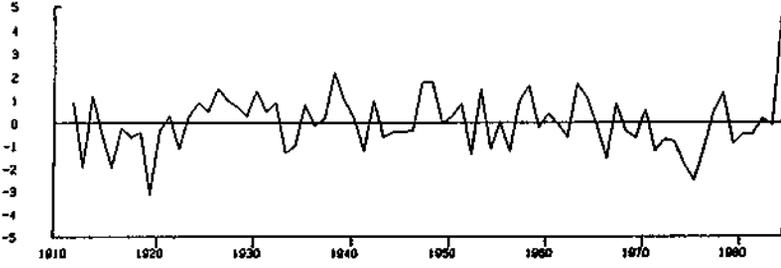
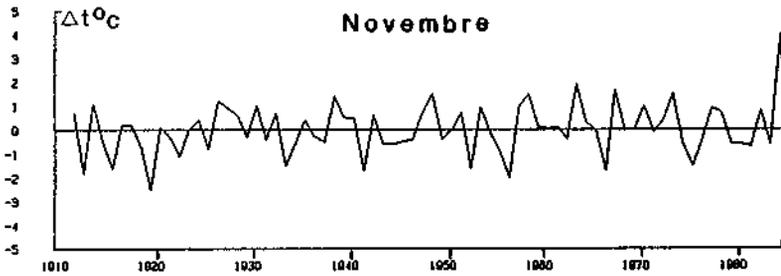
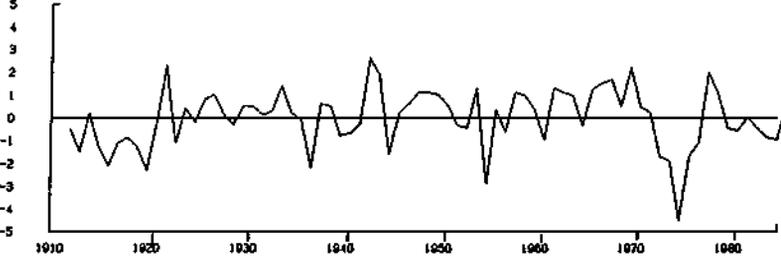
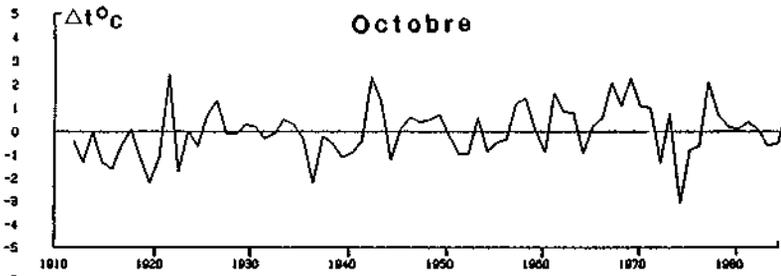


FIGURE 26 - Oscillations des valeurs des températures mensuelles par rapport aux moyennes mensuelles reportées sur le tableau I. Les courbes supérieures représentent les anomalies des températures maximales; les courbes inférieures, les anomalies des températures minimales.







3 - ETUDE DES VALEURS MENSUELLES DE LA TEMPERATURE

Les valeurs moyennes mensuelles calculées pour chaque année ont été comparées aux moyennes générales calculées plus haut. Douze courbes de valeurs désaisonnalisées ont été ainsi obtenues (Figure 26). Ces courbes confirment la faible variation des températures d'une année sur l'autre et leur stationnarité. Les écarts-types sont calculés pour les minima et maxima. Ils sont particulièrement importants pour les mois de septembre et octobre (Tableau I). Nous pouvons déjà remarquer que ces fluctuations maximales de la température de l'air correspondent aux mois où la thermocline est la plus basse. (La thermocline est la zone de transition entre la couche d'eau de mer échauffée par l'énergie solaire et les couches inférieures plus froides. C'est la profondeur où le gradient de décroissance de la température en fonction de la profondeur est maximal). Donc, ces périodes de plus grande variabilité de la température de l'air correspondent à la période où la mer renferme le plus d'énergie thermique.

Les courbes mettent en valeur les périodes de températures exceptionnelles enregistrées depuis soixante-quinze ans.

Les trois mois de janvier les plus froids correspondent aux années 1930, 1963, 1985.

Le mois de février 1956 représente une anomalie notable avec un écart par rapport à la moyenne des températures minimales de -5°C .

Le seul mois de mars ayant des températures minimales inférieures de $-3,5^{\circ}\text{C}$ à la moyenne, est celui de l'année 1972.

Les mois d'avril, mai et juin présentent très peu d'amplitude de variations.

Les mois de juillet 1929, 1953, 1983 ont été les plus chauds avec des anomalies de $+3^{\circ}\text{C}$ environ sur les températures minimales et maximales. Par contre 1955 se signale par une très forte anomalie négative ($-4,5^{\circ}\text{C}$) sur les températures minimales.

Le mois d'août est assez régulier avec deux seules exceptions : 1911 très chaud (anomalie de $+2,5^{\circ}\text{C}$) et l'anomalie négative de 1955 (-5°C).

Le mois de septembre le plus chaud a été celui de 1962 et le plus froid celui de 1932.

Le seul mois d'octobre exceptionnel a été celui de 1975 avec des températures inférieures de 4°C à la moyenne.

En novembre, les températures sont assez régulières. Novembre 1984 a été un mois particulièrement chaud.

Les mois de décembre présentent peu de variations d'une année à l'autre. Seule l'année 1954 a été un peu plus douce avec une augmentation de 3°C des températures minimales.

4 - VALEURS EXCEPTIONNELLES DES TEMPERATURES ENREGISTREES SUR LA TERRASSE DU MUSEE OCEANOGRAPHIQUE

A Monaco, les températures moyennes varient de 8°C à 26°C . Le tableau II donne la liste des températures enregistrées, exceptionnellement froides ou exceptionnellement chaudes, qui restent cependant très modérées : le record absolu de froid correspond au mois de février 1956 ($-4,0^{\circ}\text{C}$) et celui de chaleur à des températures de $+34^{\circ}\text{C}$ en juin 1945 et août 1949.

5 - ETUDE DES PERIODICITES OBSERVEES DANS L'EVOLUTION DES TEMPERATURES

Une analyse temporelle des températures a été effectuée à partir des moyennes mensuelles obtenues de 1911 à 1985.

La composante saisonnière des moyennes obtenues a été éliminée en calculant l'écart de chaque valeur par rapport au cycle annuel moyen.

Le test de Swed et Eisenhart (1975), d'existence des relations temporelles montre que les fluctuations obtenues au cours du temps ne sont pas aléatoires. Les coefficients d'autocorrélation obtenus

pour les températures maximales et minimales ne s'annulent qu'au bout de six mois. Il y a donc des corrélations dans les variations temporelles des températures (Figure 27). Une analyse spectrale des données a été effectuée à l'aide de la Transformée de Fourier Rapide.

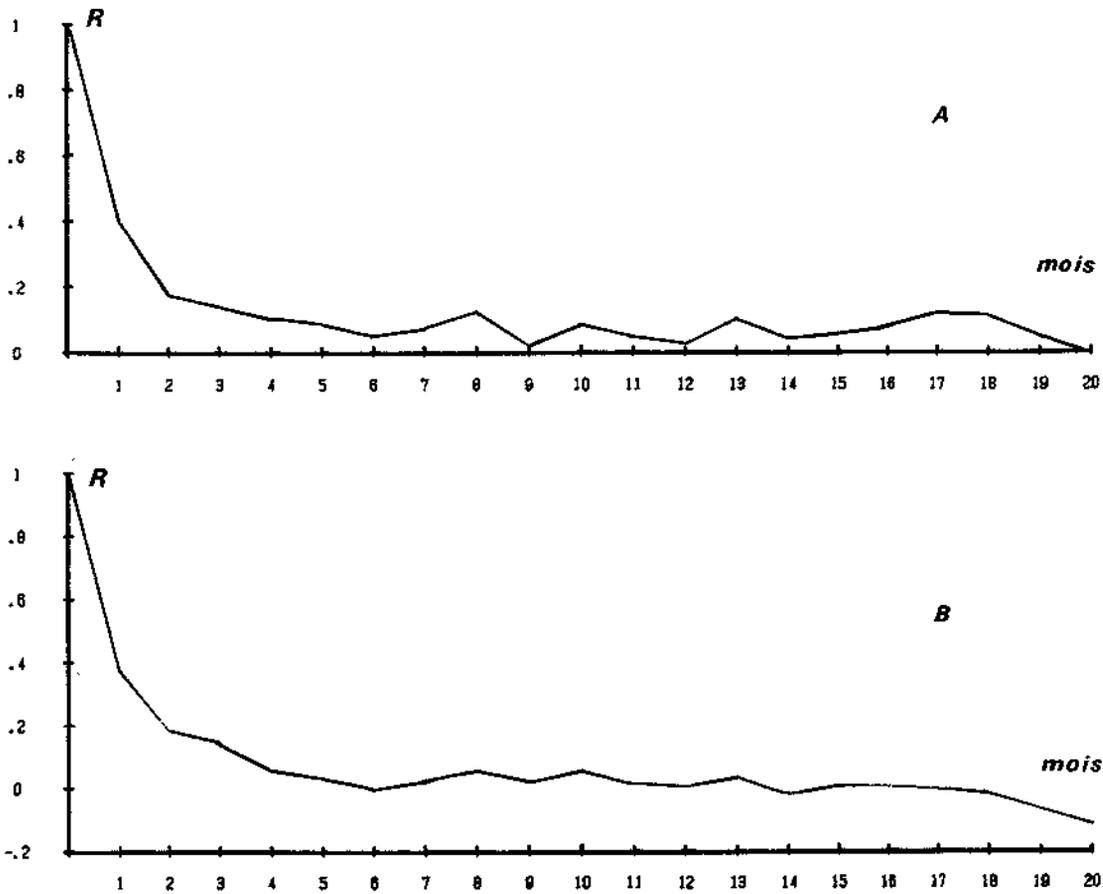


FIGURE 27 - Coefficients d'autocovariance des températures mensuelles observées à Monaco de 1911 à 1985 :
 a) pour les maxima de température ;
 b) pour les minima de température.

L'étude de la densité spectrale en fonction de la fréquence (Figure 28) permet de mettre en évidence certains pics significatifs.

Un autre spectre a été tracé en prenant comme unité temporelle le trimestre de manière à mettre en évidence une autre gamme de périodicités (Figure 29). Au total les périodicités les plus significatives sont :

- le cycle de 11 ans, cycle de l'activité solaire rencontré très souvent dans l'étude des paramètres climatiques. On peut faire également le parallèle entre les différentes périodes observées pour la température et d'autres cycles solaires : 55 mois, 21 mois, 9-8 mois.

- une onde de 4-5 ans mise plusieurs fois en évidence dans l'étude de la température de la mer (Sarukhanyan et Smirnov 1970).

- les cycles d'environ 18 mois et 1 an peuvent être reliés selon certains auteurs à la circulation générale troposphérique (Servain 1976).

- le cycle de 4 mois a été mis en évidence sur les oscillations de la densité de l'eau de mer, mesurée à différentes profondeurs, en mer Ligure (Gasparini, Manzella 1985), ainsi que sur la pression atmosphérique.

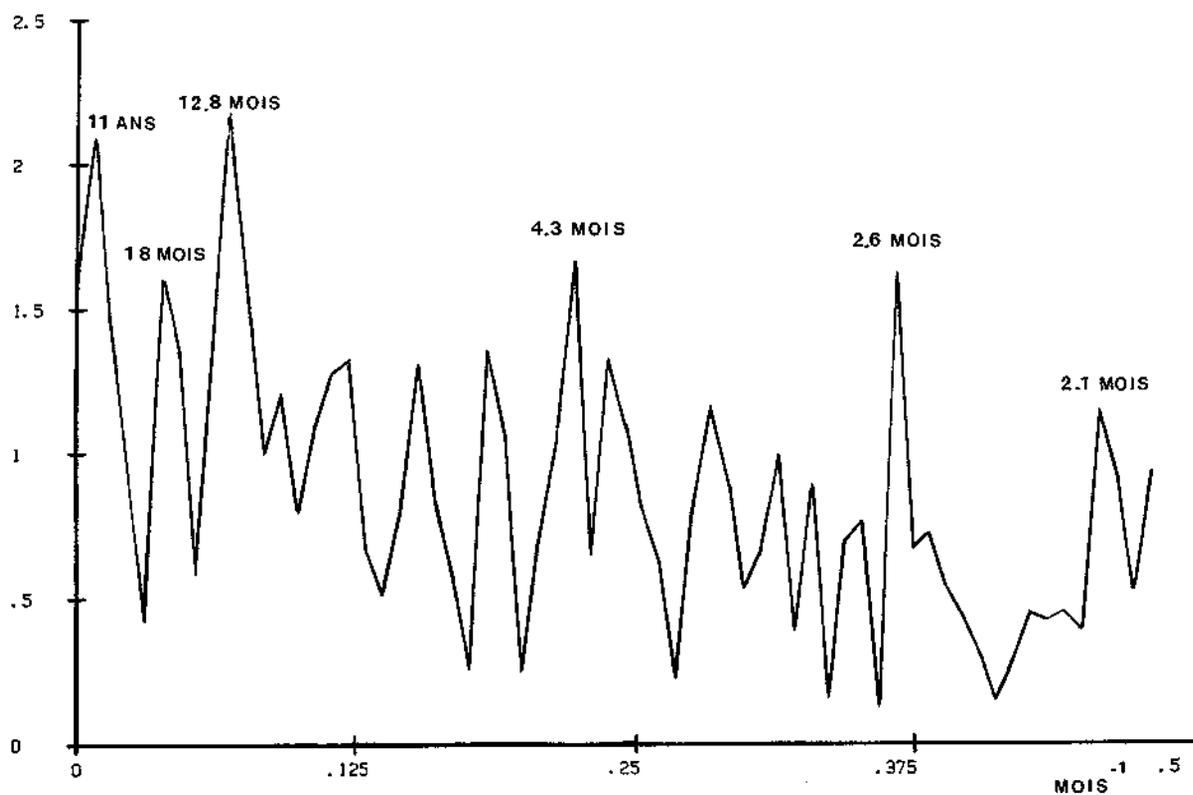


FIGURE 28 - Densité spectrale de la température mensuelle mesurée à Monaco entre 1911 et 1985.

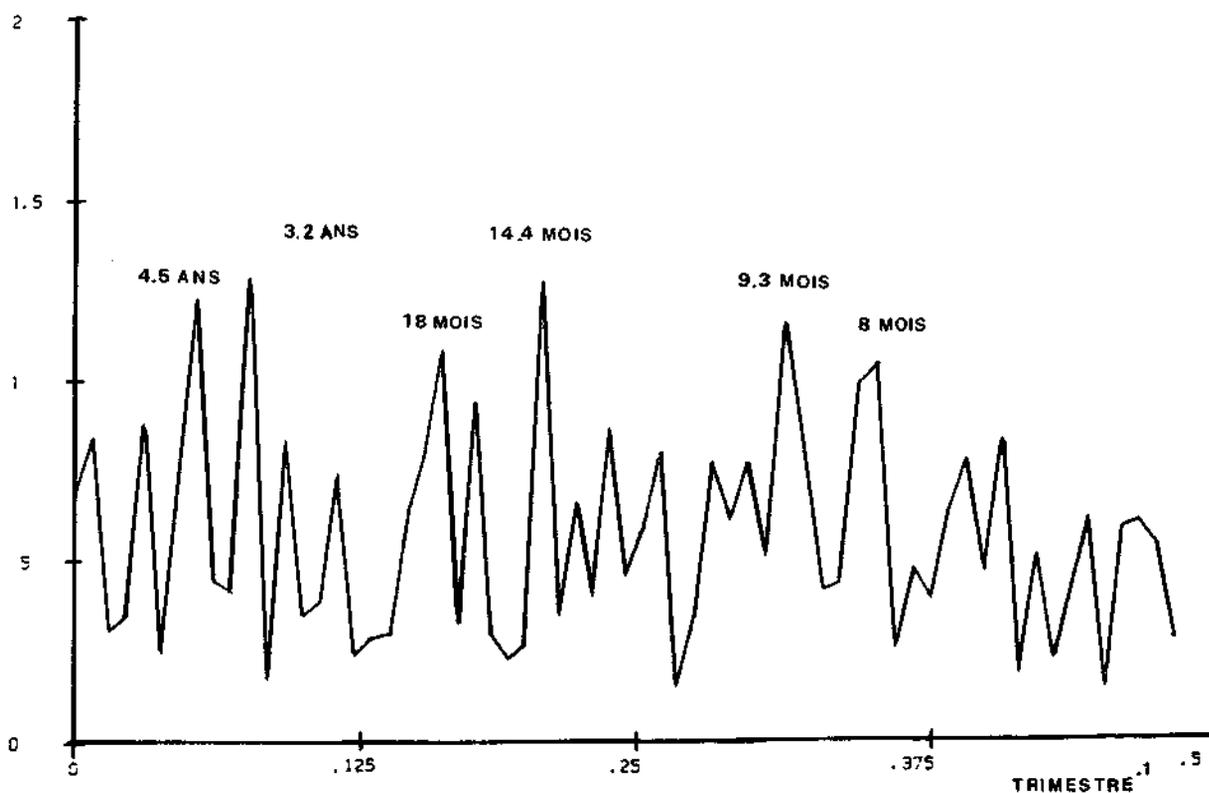


FIGURE 29 - Densité spectrale des moyennes trimestrielles des températures mesurées à Monaco entre 1911 et 1985.

Les relevés quotidiens de la température à Monaco permettent donc de retrouver des oscillations caractéristiques des phénomènes atmosphériques et océanographiques. Ces relations soulignent la complexité de l'étude climatologique, chaque paramètre étant influencé par un grand nombre de facteurs. En effet, ces périodicités à plus grande échelle doivent jouer un rôle non négligeable dans l'évolution des températures.

Pour illustrer l'influence de ces périodicités on peut par exemple observer une régularité approximative de 10 à 15 ans entre les extrêmes des températures relevées, pouvant correspondre à la modulation de l'onde de 11 ans.

Pour les périodes froides :

Décembre 1919, janvier 1930, janvier 1945, février 1956, janvier 1963, mars 1972, janvier 1985.

Pour les périodes chaudes :

Août 1911, juillet 1929, juin 1945, juillet 1953, septembre 1962, août 1972, juillet 1983.

Une périodicité de 20 ans environ (sous-harmonique de la précédente) est nettement visible sur la courbe des moyennes annuelles de température (Figure 25).

Ces fluctuations sont en tout état de cause, minimes, la grande caractéristique des températures enregistrées depuis soixante-quinze ans est leur faible variabilité, illustrant un climat particulièrement doux avec très peu d'amplitude de variation journalière et saisonnière.

Mois	(a) 1911-1960			(b) 1961-1985			(c) 1911-1985			σ
	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	Maxi	Mini	Moy.	σ
Janvier	12.20	8.09	10.15	12.30	8.06	10.18	12.25	8.08	10.17	1.07
Février	12.62	8.24	10.43	12.40	8.07	10.23	12.52	8.16	10.33	1.05
Mars	14.04	9.72	11.88	13.90	9.46	11.68	13.97	9.60	11.78	0.99
Avril	15.92	11.67	13.80	16.37	11.57	13.97	16.13	11.62	13.88	0.90
Mai	19.22	14.94	17.12	19.52	14.70	17.11	19.36	14.83	17.11	1.07
Juin	22.91	18.59	20.75	23.06	18.37	20.72	22.98	18.49	20.74	1.13
Juillet	25.46	21.15	23.31	26.14	21.21	23.68	25.78	21.18	23.48	1.02
Août	25.80	21.56	23.68	26.07	21.45	23.76	25.93	21.51	23.72	1.04
Septembre	23.59	19.41	21.50	24.06	19.13	21.60	23.81	19.28	21.55	1.23
Octobre	19.70	15.58	17.64	20.12	15.57	17.85	19.90	15.57	17.74	1.14
Novembre	15.97	12.00	13.99	16.23	11.82	14.03	16.09	11.91	14.00	1.09
Décembre	13.29	9.17	11.23	13.55	9.35	11.45	13.41	9.25	11.33	0.95

Tableau I: *Moyenne générale des températures*
 σ : écart-type établi sur l'ensemble de la série 1911-1985

<i>Valeurs inférieures à 1° C</i>	
2 février 1911	0,4°
15 mars 1911	0,2°
16 février 1918	0,6°
17 décembre 1920	-2,2°
13 janvier 1926	-0,4°
18 décembre 1927	-2,6°
14 février 1929	-2,2°
14 décembre 1935	0,8°
14 février 1940	-1,3°
6 janvier 1947	0,0°
23 février 1948	0,2°
11 et 15 février 1956	-4,0°
14, 23, 30 et 31 janvier 1963	0,0°
1 ^{er} février 1963	0,0°
11 décembre 1967	0,0°
7 mars 1972	-3,0°
16 février 1984	0,0°
9 janvier 1985	-3,2°

<i>Valeurs supérieures à 31° C</i>	
22 juillet 1911	31,0°
9 août 1911	31,8°
20 juillet 1926	31,6°
12 août 1927	32,0°
16 juillet 1928	31,9°
3 septembre 1929	31,2°
18 août 1932	32,0°
20 août 1943	31,2°
23 août 1944	31,5°
29 juin 1945	34,0°
3 août 1949	34,0°
4 juillet 1952	33,0°
15 juillet 1970	32,0°
30 juillet 1971	32,4°
2 août 1980	31,2°
7 août 1981	32,8°
8 juillet 1982	32,0°
12 août 1982	31,2°
31 juillet 1983	31,8°
1 ^{er} août 1983	31,2°

Tableau II: *Valeurs exceptionnelles de températures enregistrées à Monaco*

LES PRECIPITATIONS

1 - MOYENNE GENERALE

La moyenne annuelle des précipitations de 1911 à 1950 est de 784,4 mm, répartis sur 63 jours de pluie (Vernet 1962). De 1951 à 1985, cette moyenne est tombée à 740,4 mm répartis sur 64 jours. Nous observons donc une diminution globale des précipitations. La moyenne générale établie sur les soixante-quinze ans est de 763,9 mm.

Le tableau I donne la répartition mensuelle des pluies moyennée sur les quarante premières années et sur les soixante-quinze ans d'étude.

Il existe un fort déséquilibre saisonnier de ces pluies, les mois les plus pluvieux étant incontestablement octobre et novembre, alors que juillet et août sont particulièrement secs. Le nombre restreint de jours de pluie, même en automne, est remarquable : 7 à 8 jours de pluie par mois en moyenne pour les mois les plus pluvieux. Nous retrouvons le caractère typique des pluies méditerranéennes, peu fréquentes mais abondantes.

2 - VARIATION DES TOTAUX ANNUELS DES PRECIPITATIONS

Sur la figure 30 est reportée la somme annuelle des précipitations mesurées chaque année depuis 1911. Cette somme varie de 212,5 mm en 1921 à 1.333,6 mm en 1916. Des écarts importants sont observés (Tableau II). Cette courbe peut être lissée en utilisant une moyenne mobile (effectuée sur 15 termes consécutifs pondérés). Il est alors possible d'obtenir une régression linéaire (Figure 31) :

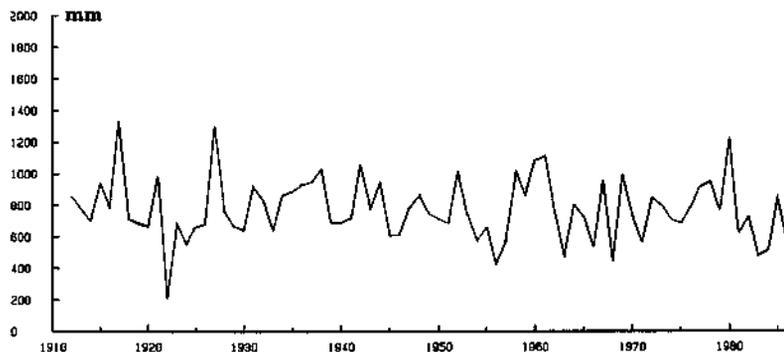


FIGURE 30 - Somme annuelle des précipitations mesurées au Musée Océanographique de 1911 à 1985.

$$P(t) = (-1.912 t + 825,17) \text{ mm significative à } 90\% \text{ près.}$$

L'origine des temps correspondant à l'année 1911. Ce qui signifie que globalement on enregistre une baisse sensible des précipitations au cours des dernières décennies qui semble être de 20% entre 1911 et 1985, d'après ce premier résultat.

3 - ETUDE DES PRECIPITATIONS MENSUELLES

Sur les courbes de la figure 32 sont reportées les valeurs des précipitations obtenues mois par mois. Ces courbes mettent en évidence la variabilité de la pluviométrie d'une année sur l'autre.

Les écarts les plus importants correspondent aux mois de plus forte pluviométrie : soit octobre et novembre. Par exemple, pour ce dernier mois, la quantité d'eau tombée varie entre : 0 (années 1954, 1981, 1983) à 450,8 mm en 1926.

On obtient pour ces mois des écarts types de :

$$\sigma(10) = 77 \text{ mm et}$$

$$\sigma(11) = 85 \text{ mm.}$$

Les courbes les plus régulières correspondent aux mois de juillet et août où la pluviométrie est généralement très faible, avec cependant un maximum absolu : 164,1 mm en juillet 1941.

Les écarts types calculés pour ces deux mois sont :

$$\sigma(7) = 25,2 \text{ mm}$$

$$\sigma(8) = 28 \text{ mm}$$

Les mois dont les précipitations sont supérieures à 250 mm sont indiqués dans le tableau III. Ces mois correspondent le plus souvent à la période octobre, novembre et décembre. Il faut noter cependant quelques autres mois anormalement pluvieux comme le mois de mai 1984 avec 214 mm de pluie répartis sur 14 jours ou le mois de juillet 1941 avec 164,1 mm de pluie en seulement deux orages !

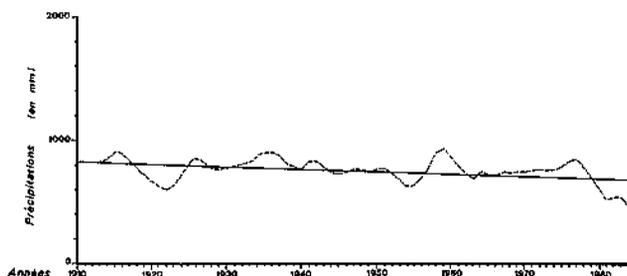


FIGURE 31 - Courbe lissée des précipitations annuelles.

4 - VALEURS EXCEPTIONNELLES DES PRECIPITATIONS

a) Les fortes pluies

On doit noter la très forte intensité des pluies occasionnant les records mensuels. Ainsi en soixante-quinze ans, ont été plusieurs fois enregistrées des quantités journalières de pluies supérieures à 100 mm :

le 13/10/1973	193,5 mm
le 14/09/1968	146,5 mm
le 11/09/1930	129,5 mm
le 24/12/1935	113,5 mm
le 05/11/1957	110,9 mm
le 23/06/1940	102,0 mm
le 30/10/1914	101,0 mm
le 19/12/1958	100,6 mm

Plus récemment, l'une des journées les plus pluvieuses fut le 15 octobre 1979 avec 72,4 mm sur le toit du Musée océanographique, dont 41 mm tombés en seulement une demi-heure. La figure 33 reproduit l'enregistrement de cette journée.

b) Les périodes de sécheresse

A l'inverse, durant ces soixante-quinze ans, on doit souligner de longues périodes de sécheresse. Le tableau IV fournit la liste de ces périodes. Le plus souvent elles concernent la période estivale ce qui est conforme aux caractéristiques climatiques de la région. Cependant, nous avons connu de 1980 à 1985 plusieurs hivers très secs, ce qui est un phénomène beaucoup plus rare (l'hiver 1937-1938 est la seule exception enregistrée entre 1911 et 1980).

La figure 34 illustre, de manière plus détaillée, les hauteurs de pluie enregistrées pendant la période très contrastée de janvier 1979 à janvier 1984. Pendant l'hiver 1980-1981, on a noté un mois de décembre sans pluie, en janvier 1981, 9,5 mm au total, 4 jours de très faibles pluies en février (12,5 mm) et un mois de mars encore très nettement déficitaire (52 mm en 7 jours de pluie).

Les conséquences ont été un hiver absolument sans neige. On a même pu mesurer une augmentation de salinité de la mer due à ce déficit en apport d'eau douce. Cette sécheresse, d'ailleurs générale sur tout le bassin méditerranéen, a entraîné dans la baie de Monaco une augmentation de salinité de 0,5‰, soit une salinité moyenne observée de 38,4‰ pendant l'automne 1981.

L'hiver 1982-1983 fut également très sec avec seulement 23,5 mm de pluie en décembre, une grande période de sécheresse entre le 19 décembre et le 9 février et un mois de mars totalement sec.

L'hiver 1983-1984 fut encore déficitaire avec un mois de novembre pratiquement sans pluie (1 mm seulement).

5 - RECHERCHE DE PERIODICITE DANS LES VARIATIONS DES PRECIPITATIONS AU COURS DU TEMPS

Ainsi que nous l'avons vu, les précipitations mesurées à Monaco sont caractérisées par leur grande variabilité suivant les mois et les années. Statistiquement, ces fluctuations ne semblent pas être corrélées (faible coefficient d'autocorrélation). Les différents essais d'analyse spectrale ne permettent pas de mettre en évidence des pics particuliers correspondant à une période donnée. Les fluctuations observées dans les précipitations semblent a priori aléatoires. Cependant, plutôt que de nous attacher à la mesure intrinsèque des hauteurs de pluie, nous avons observé la liste des années déficitaires et des années excédentaires en pluie.

Pour conforter nos conclusions, nous avons ajouté aux soixante-quinze ans de mesures disponibles au Musée océanographique, les observations tirées d'une étude du Service météorologique des Alpes-Maritimes, concernant les « hauteurs de pluie annuelles relevées à la station d'observation de Nice-Gioffredo de 1893 à 1962 ». Qualitativement, ces deux séries sont évidemment très comparables et permettent d'obtenir ainsi 92 ans de données.

Nous observons alors une périodicité de vingt ans environ pour les années sèches et les années humides.

Les périodes déficitaires étant :

1904 à 1909 ; 1921 à 1924 ; 1944 à 1945 ; 1965 à 1967 ; 1980 à 1983.

et les périodes excédentaires :

1916 à 1917 ; 1935 à 1937 ; 1956 à 1960 ; 1976 à 1979.

L'amplitude et la durée de ces périodes accusent une assez grande variation mais sont cependant très nettes. Nous pourrions nous hasarder à supposer que les années 1995 et 1996 seront une période particulièrement pluvieuse et que l'an 2000 devrait être sec.

Ce résultat relativise notre première conclusion concernant une tendance légèrement déficitaire depuis soixante-quinze ans. Cette période de mesure comprend en effet plus d'années sèches que d'années excédentaires pour finir par une période déficitaire, ce qui doit biaiser le calcul de la régression. Nous rappelons également que l'emplacement du pluviomètre a été changé en 1966, ce qui a pu contribuer à une rupture dans l'homogénéité des mesures. La forte urbanisation de Monaco et de ses environs a pu jouer un rôle dans la modification du climat. Le bilan thermique de la mer elle-même a pu évoluer depuis le début du siècle ; par exemple, la présence d'hydrocarbures à la surface de l'eau ralentit l'évaporation. Il semble donc difficile de tirer des conclusions quant aux causes (phénomène climatique général ou modifications locales) et à la pérennité de cette diminution des précipitations à Monaco.

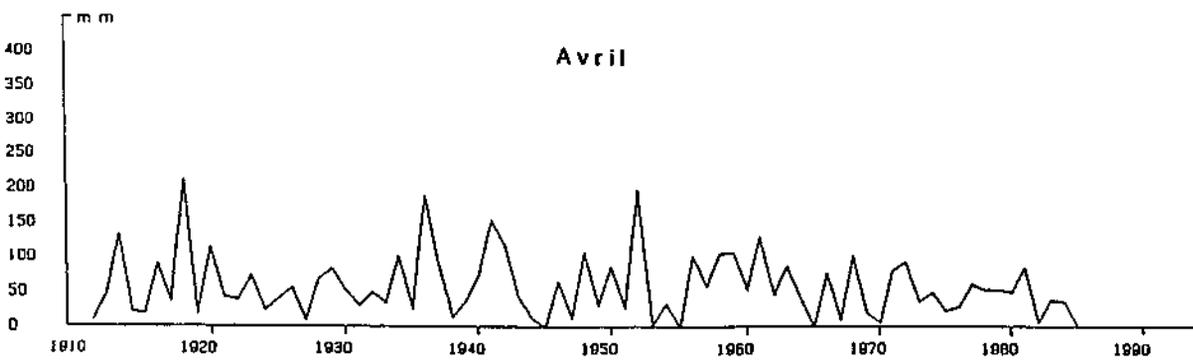
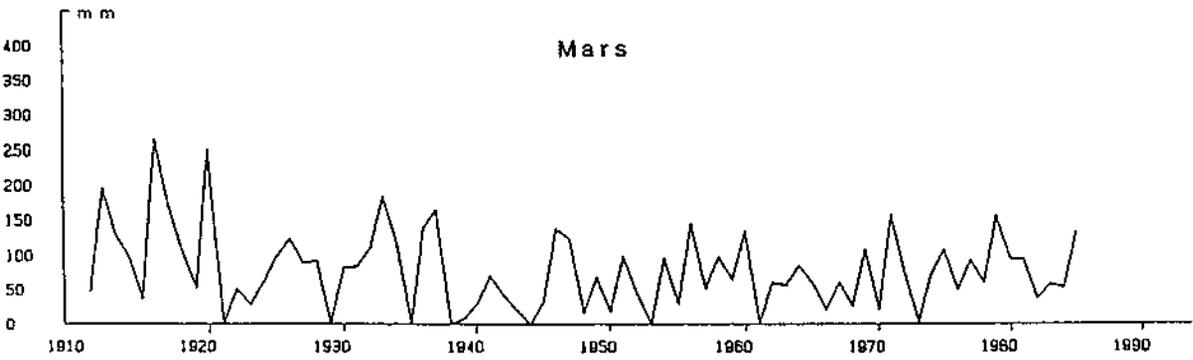
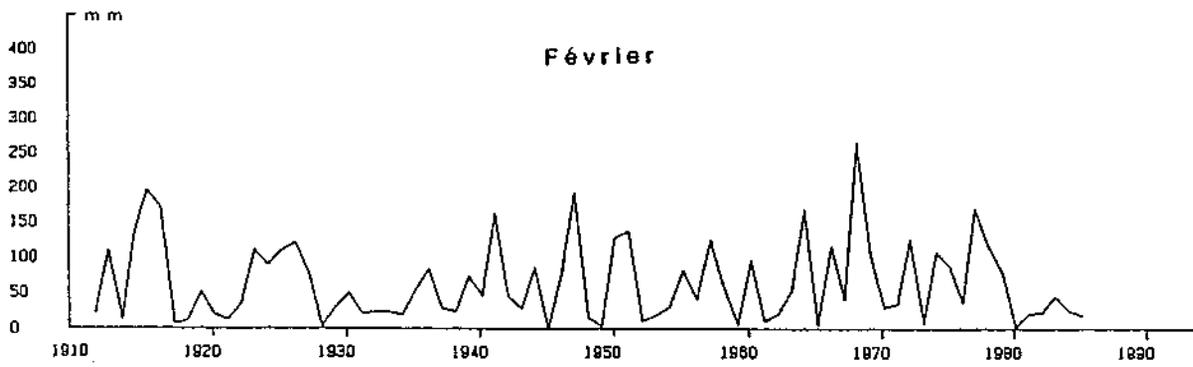
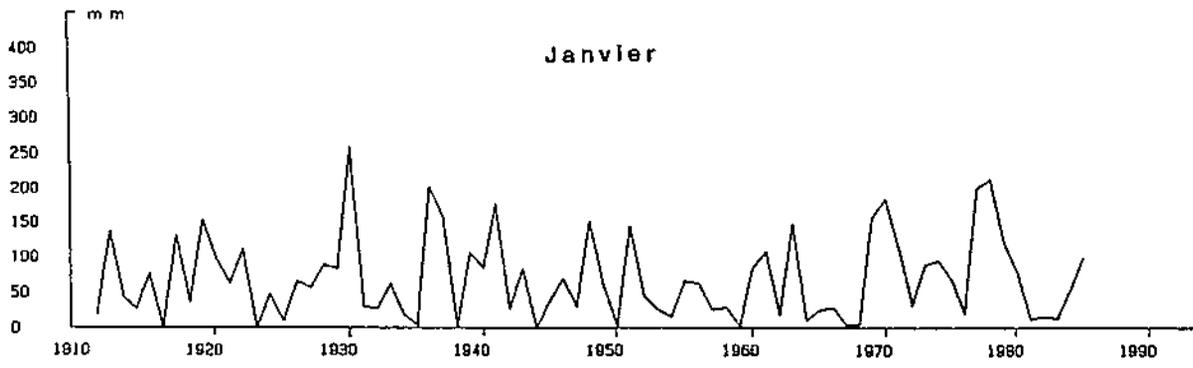
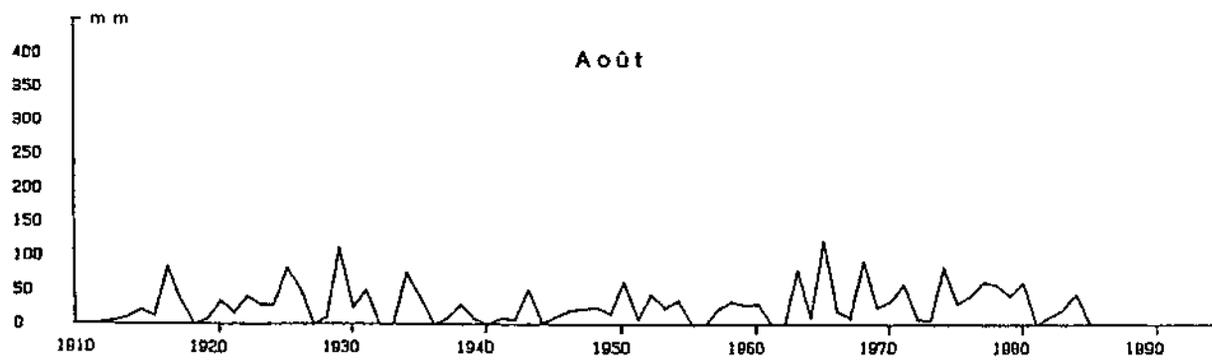
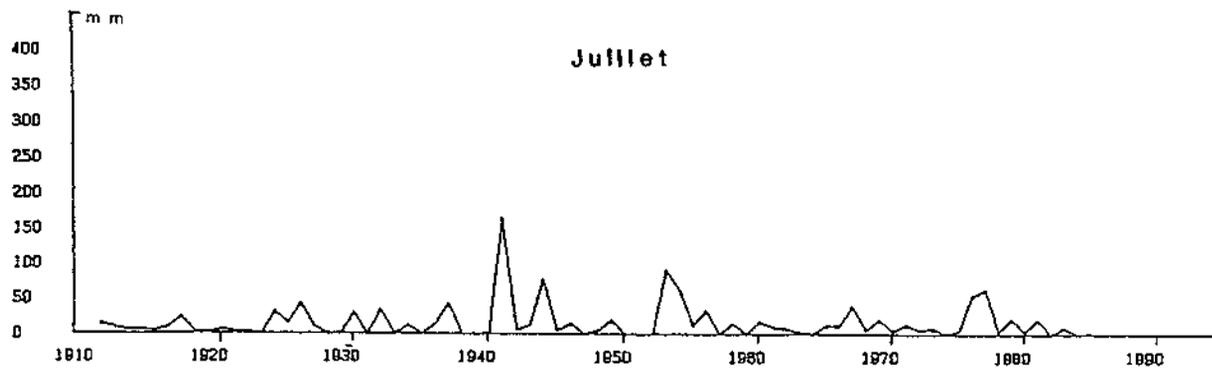
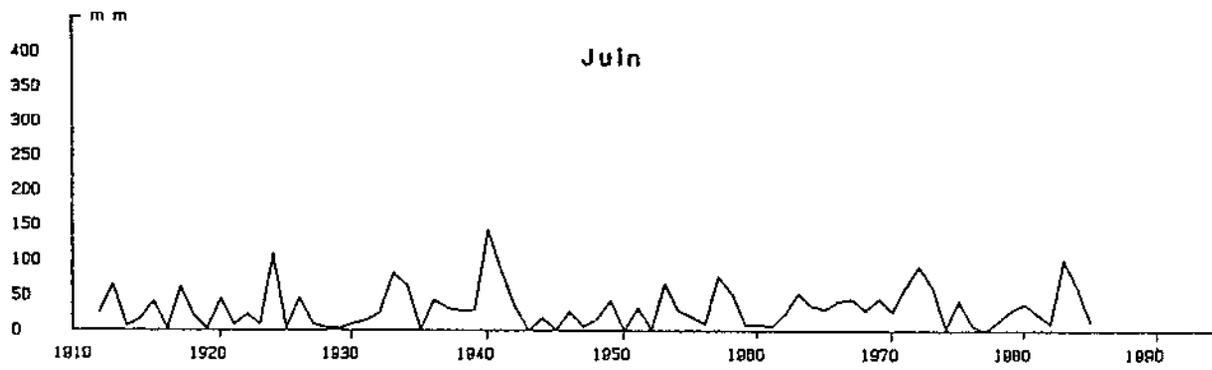
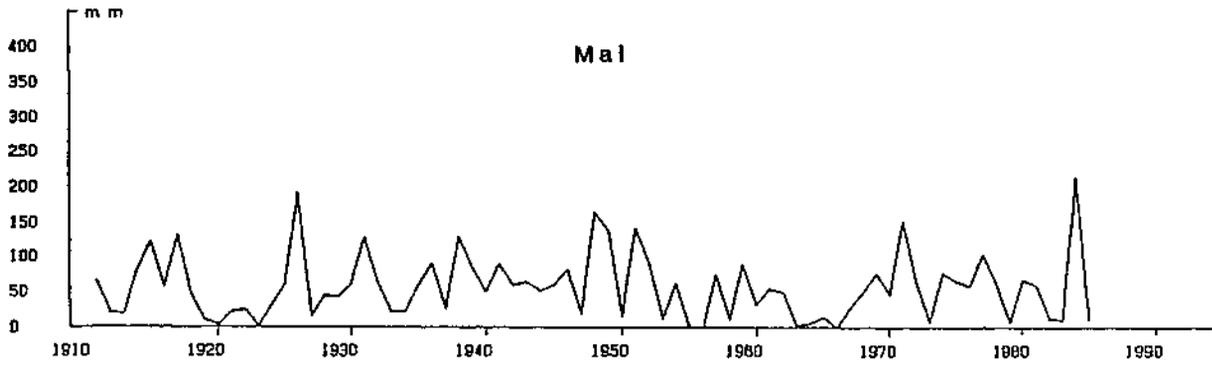
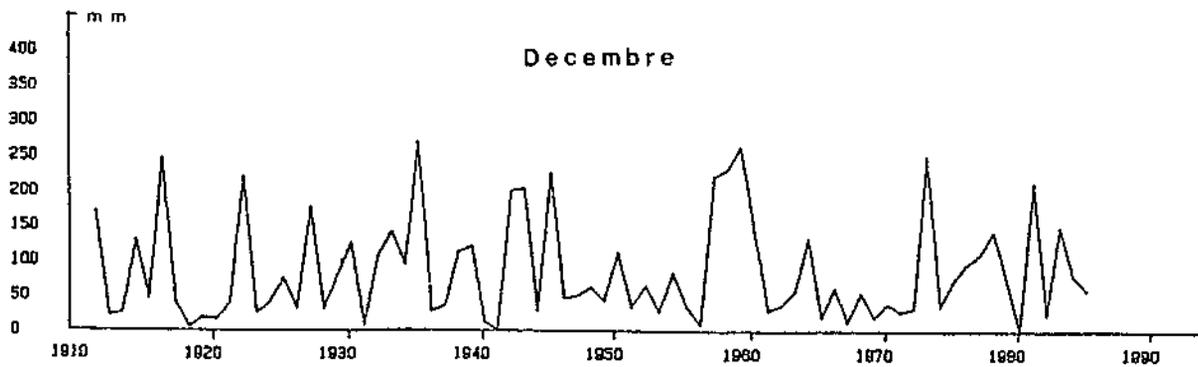
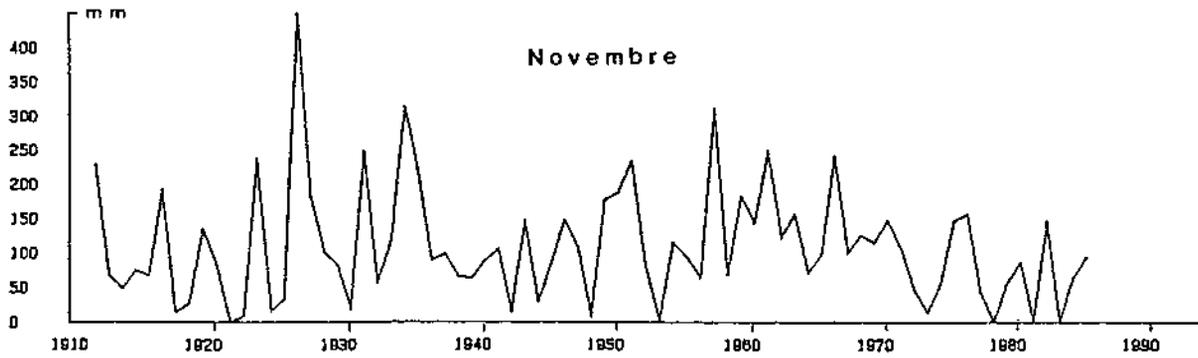
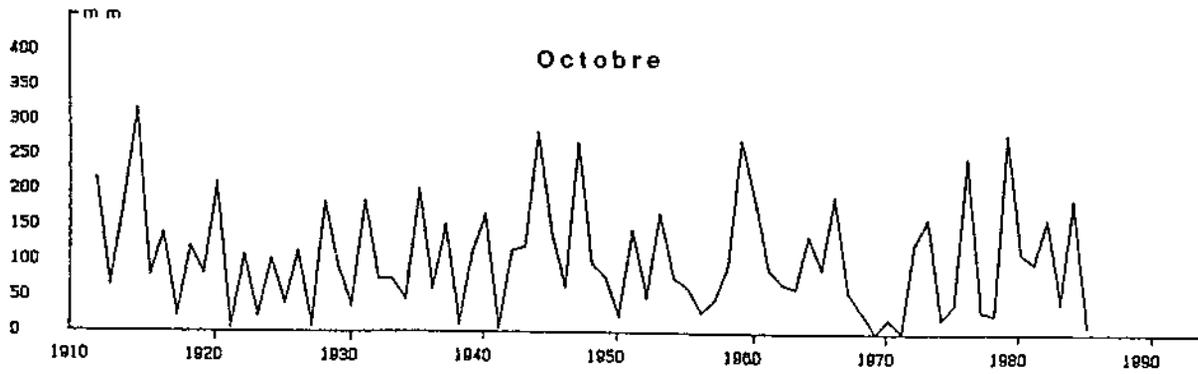
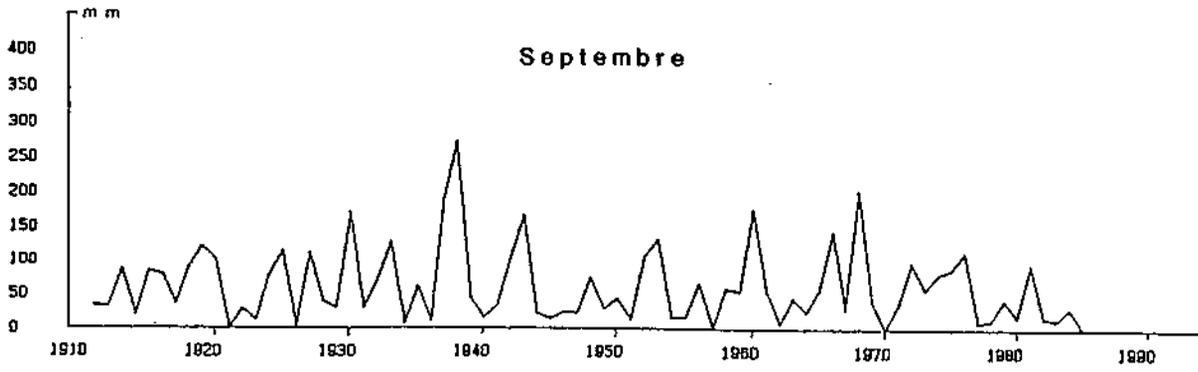


FIGURE 32 - Valeurs mensuelles des précipitations mesurées au Musée Océanographique de 1911 à 1985.





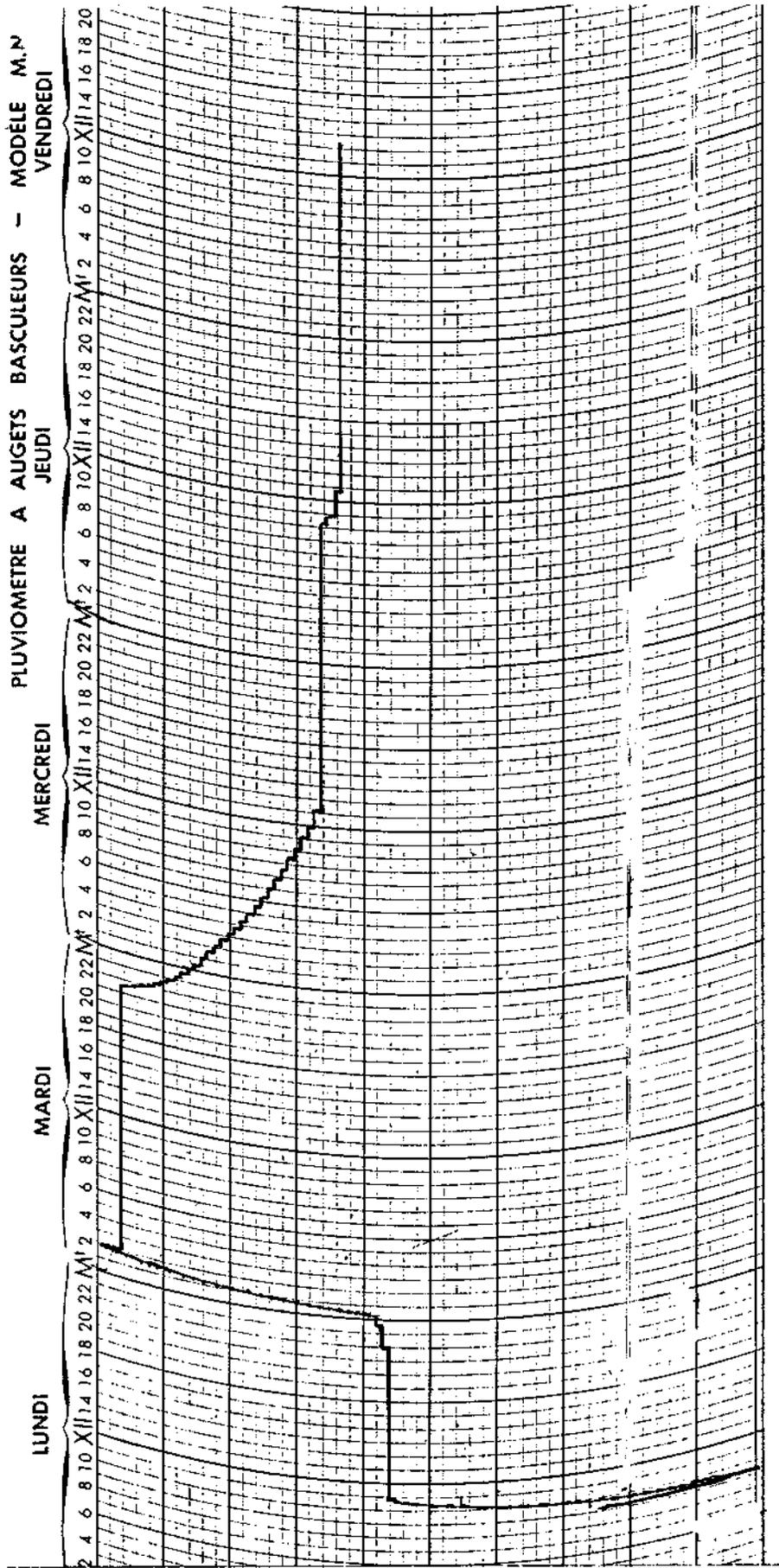


FIGURE 33 - Enregistrement de la période exceptionnellement pluvieuse d'octobre 1979.

Mois	Hauteurs moyennes en mm sur 40 ans	Jours de pluie sur 75 ans	Hauteurs moyennes en mm sur 75 ans
Janvier	70,7	5,9	69,9
Février	62,7	5,2	64,3
Mars	83,6	6,7	78,0
Avril	60,9	6,0	57,4
Mai	61,1	5,6	56,6
Juin	29,6	2,8	31,9
Juillet	15,6	1,3	15,7
Août	26,2	2,5	29,4
Septembre	65,6	4,5	61,1
Octobre	109,8	7,5	104,3
Novembre	111,4	7,7	109,7
Décembre	87,0	6,8	85,5

Tableau I : Moyennes mensuelles des précipitations

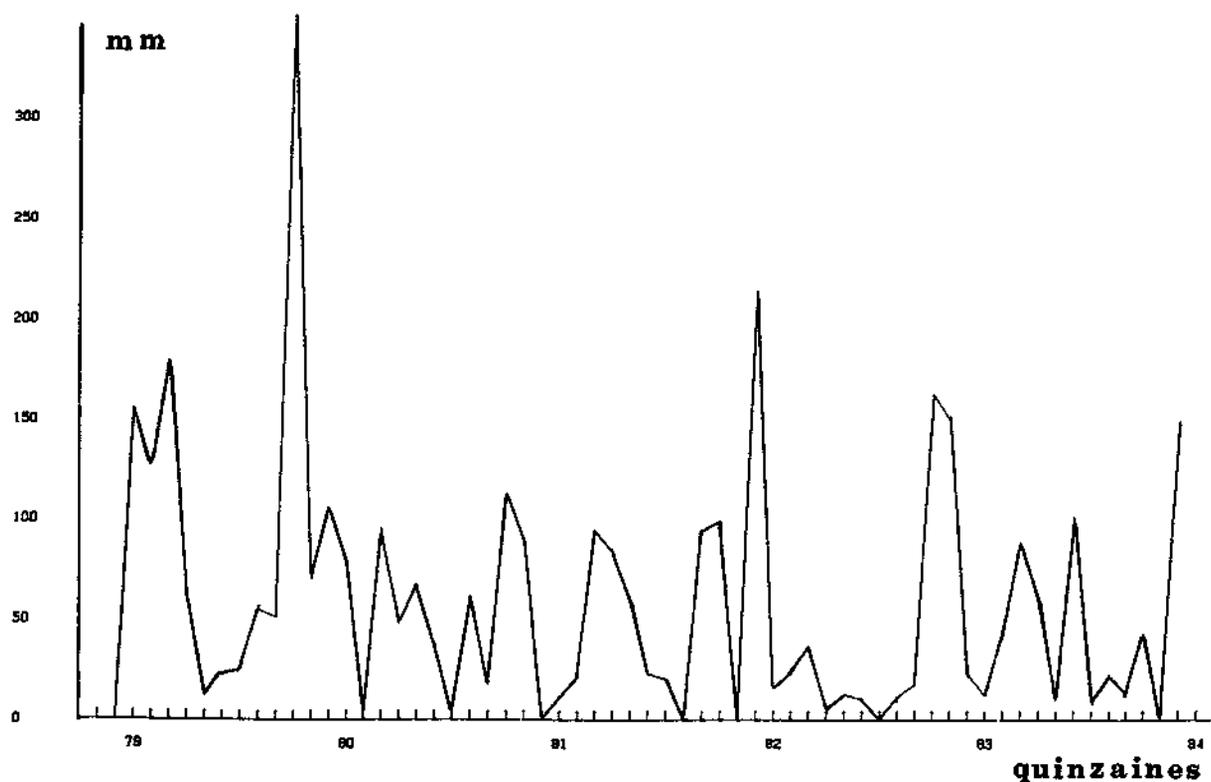


FIGURE 34 - Hauteur de pluie enregistrée, quinzaine par quinzaine de janvier 1979 à janvier 1984.

Année	Hauteur de pluie	Nombre de jours
1916	1333.6	82
1926	1297.8	74
1937	1027.3	71
1951	1011.9	70
1957	1016.4	62
1959	1079.6	73
1960	1107.5	125
1979	1217.0	85
1921	212.5	25
1955	418.5	37
1962	463.1	59
1967	436.2	39
1982	469.0	68

Tableau II : *Années dont les précipitations ont été supérieures à 1000 mm ou inférieures à 500 mm.*

Mois	Année	Hauteurs de pluie	Nombre de jours
Novembre	1926	450,8 mm	16
Octobre	1914	315,4 mm	12
Novembre	1934	314,0 mm	13
Novembre	1957	313,2 mm	15
Décembre	1935	268,7 mm	13
Décembre	1959	263,2 mm	11
Septembre	1938	272,8 mm	9
Février	1968	264,5 mm	15
Octobre	1979	282,8 mm	15

Tableau III : *Mois dont les précipitations ont été supérieures à 250 mm*

80 jours du 22/06 au 09/09/1933	64 jours du 02/06 au 04/08/1929
80 jours du 21/03 au 08/06/1955	63 jours du 24/08 au 25/10/1921
77 jours du 22/05 au 06/08/1950	61 jours du 02/07 au 31/08/1956
74 jours du 02/07 au 13/09/1936	61 jours du 23/06 au 22/08/1957
73 jours du 07/06 au 18/08/1952	60 jours du 17/12/37 au 14/02/1938
70 jours du 18/07 au 25/09/1962	60 jours du 19/02 au 19/04/1938
69 jours du 13/06 au 22/08/1959	75 jours du 13/06 au 27/08/1982
66 jours du 30/05 au 03/08/1935	52 jours du 19/12/82 au 09/02/1983
65 jours du 14/03 au 17/05/1965	

Tableau IV : *Résumé de durée exceptionnelle de sécheresse*
Absence de précipitation enregistrée au Musée Océanographique de Monaco de 1911 à 1985 (soixante-quinze ans)

LE VENT

Le vent peut être représenté par une grandeur vectorielle définie par deux paramètres, la direction et la vitesse. C'est une donnée qui peut se modifier très rapidement au cours du temps sans aucune inertie : le vent instantané peut parfois être très différent du vent moyenné sur dix minutes. C'est pourquoi nous n'avons pas fait une moyenne générale sur soixante-quinze ans ou même des moyennes mensuelles des paramètres vitesse et direction, moyennes qui ne seraient pas véritablement représentatives du régime des vents. Nous avons étudié le vent enregistré quotidiennement, la période d'échantillonnage variant de un an à cinq ans. Les périodes d'étude ont été réparties sur les soixante-quinze ans de manière à obtenir des conclusions plus générales sur le régime des vents depuis le début du siècle et d'y déceler d'éventuelles modifications.

1 - DIRECTION DES VENTS

L'établissement de roses de vents permet de représenter le pourcentage de fréquence des vents de différentes directions enregistrées sur la terrasse du Musée océanographique.

Ces roses ont été dessinées pour différentes périodes :

1920-1924 ; 1960-1964 ; 1965-1970 ; 1979-1984 ; (Figure 35), à partir de trois observations journalières (matin, midi et soir).

Pour les premières périodes, on obtient des roses assez semblables avec les directions ENE puis WSW très privilégiées, une composante S à SSW non négligeable par rapport aux autres directions (10 à 15 %) et par contre, une composante NW très rare. La période 1979-1984 se différencie des précédentes. Les directions les plus fréquentes sont SE puis ENE et SW à NW. La composante S à SSW devient plus faible par rapport aux autres directions (9 %) mais surtout on retrouve une composante N à NW qui devient relativement fréquente (11 %).

Cette différence n'est pas à imputer à un changement climatique brutal. Comme il a été déjà signalé, dans le chapitre 4, les capteurs anémométriques ont été déplacés en 1979 de manière à obtenir de meilleures mesures. Situés désormais à 20 m au-dessus de la masse du bâtiment, le vent ainsi enregistré n'a plus été perturbé par des vents tourbillonnaires produits au niveau de la terrasse, masquant la composante NW et déviant les vents d'W vers le Sud.

Des roses de vents ont été également établies à partir des enregistrements tri-horaires effectués pendant une année, ce qui fournit une étude plus fine de la variation journalière des vents. La figure 36 représente les roses obtenues pour les années 1981, 1982, 1984.

Pour l'année 1981 les directions W deviennent presque équivalentes aux directions E. Ce régime particulier pourrait avoir une relation avec la période de sécheresse observée cette année.

En 1984, qui fut une année pluvieuse, on note au contraire, une nette supériorité des vents d'Est.

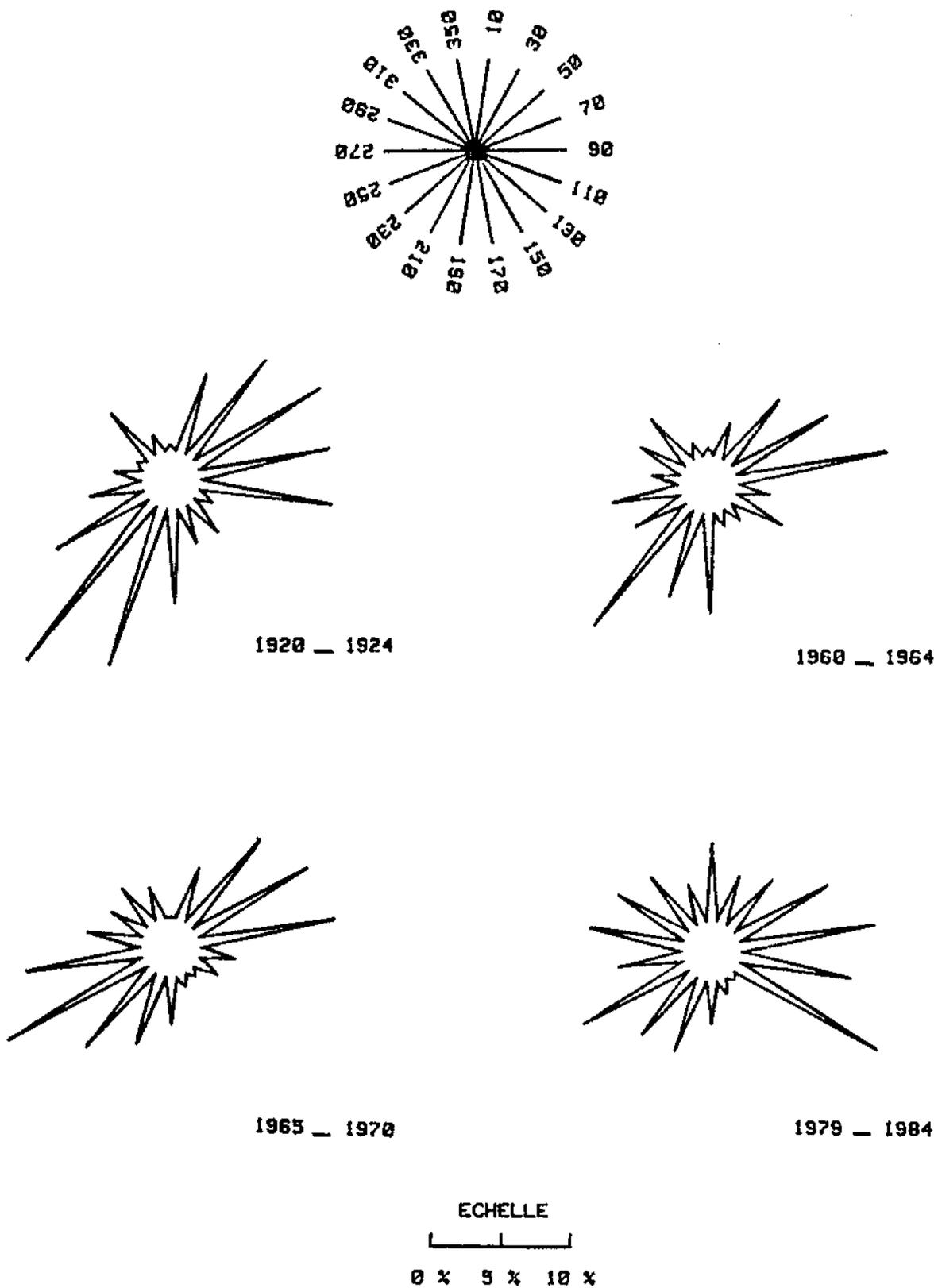
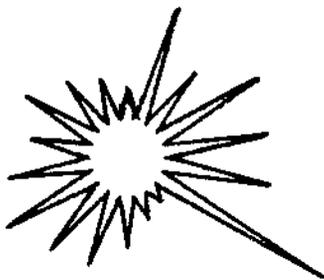
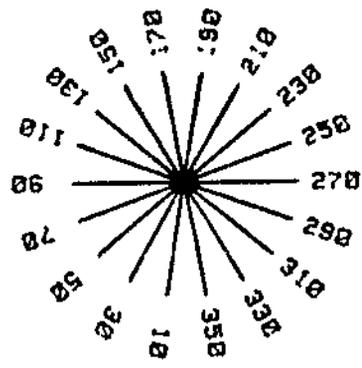
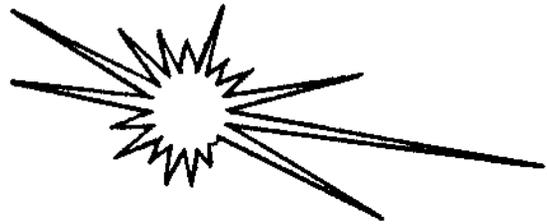


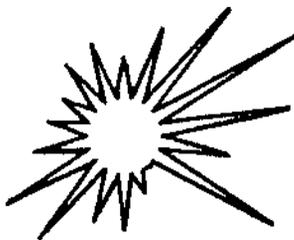
FIGURE 35 - Roses des vents établies à partir de trois observations par jour pour des périodes de cinq ans.



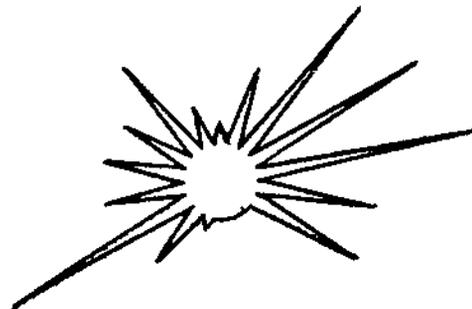
EN1981



EN1984



EN1982



>10M/S EN1982

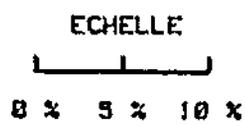


FIGURE 36 - Roses des vents établies à partir d'observations trihoraires pour des périodes d'un an.

Ainsi, on observe de légères différences d'une année à l'autre. Cependant, de manière générale, les directions les plus fréquentes sont d'Est, Sud-Est (37% contre 25% W, SW).

Si au lieu d'intégrer toutes les mesures de vents faites sur l'année, l'étude ne tient compte que des vents de vitesse supérieure à 10 m/s la rose des vents se simplifie alors et l'on obtient les quatre directions privilégiées E, SE, W, SW, avec alors 46% de direction W, SW et NW et 45% de direction E à SE (Figure 36).

Les directions Nord-Est (air plus froid que la mer, descendant du Mont Agel) et Sud-Ouest obtenues, correspondent aux brises de terre et brises de mer s'établissant généralement au cours d'une journée calme lorsque les coups de vent d'Est ou d'Ouest ne viennent pas perturber ce régime classique des zones littorales.

2 - VITESSE DES VENTS

a) Les vitesses moyennées sur dix minutes

Les données recueillies sont le plus souvent constituées des relevés anémométriques moyens effectués trois fois par jour. On s'est donc fondé sur ces vitesses moyennes journalières pour établir des histogrammes de vitesse du vent.

Les données de cinq années consécutives ont été cumulées pour obtenir des représentations plus générales. La figure 37 représente les histogrammes obtenus pour quatre époques différentes 1920-1924, 1960-1964, 1965-1970, 1981-1985.

Si les trois premiers histogrammes sont assez semblables, le quatrième est nettement décalé vers les vitesses supérieures, et sa forme est beaucoup plus régulière. Les tranches de vitesses sous-estimées dans les premiers histogrammes correspondent aux vents dont la direction était masquée dans la position initiale des appareils de mesure, phénomène mis en évidence par l'étude des roses des vents. L'établissement de ces histogrammes illustre de manière frappante l'utilité du changement de hauteur du mât, effectué en 1979.

Les mesures de 1911 à 1978 peuvent être comparées en valeur relative : on ne dénote pas de variation nette dans la distribution des vitesses, caractérisée par une nette prépondérance des faibles valeurs (80% des données inférieurs à 8 m/s). Pour une étude plus approfondie de la distribution réelle des vitesses du vent au-dessus du Musée, nous nous limiterons à la période 1979-1985. On trouve alors, 84% des valeurs inférieurs à 12 m/s soit 43,2 km/h. La valeur moyennée la plus fréquente correspond à des vents moyens inférieurs à 22 km/h. La Principauté est donc en général très bien abritée du vent.

b) Vitesses instantanées

A partir de 1979, la vitesse instantanée maximale observée dans la journée a été également reportée sur les bulletins météorologiques. Cette vitesse peut être parfois nettement supérieure aux vitesses moyennées. On peut comparer les histogrammes établis à partir de ces deux mesures (Figure 38). On obtient, en vitesse moyennée, une seule valeur supérieure à 40 m/s, alors que l'on a mesuré deux valeurs instantanées supérieures à 45 m/s :

- le 23 mars 1979 : on enregistre une pointe de vent de 42 m/s (151 km/h) de SW ;
- le 20 janvier 1981 : maximum instantané de 41 m/s (144 km/h) de NW (voir figure 39) ;
- le 9 décembre 1981 : 44 m/s (158 km/h) de direction W ;
- les 9 et 10 février 1984 : on enregistre un vent moyenné de 40 m/s et aux pointes de 46 m/s et 45 m/s (soit 166 km/h et 162 km/h) dans la direction NE.

Cependant, même en valeur instantanée, le vent est le plus souvent inférieur à 10 m/s (soit 36 km/h) – 80% des valeurs enregistrées correspondent à des vents instantanés inférieurs à 20 m/s (soit 71 km/h).

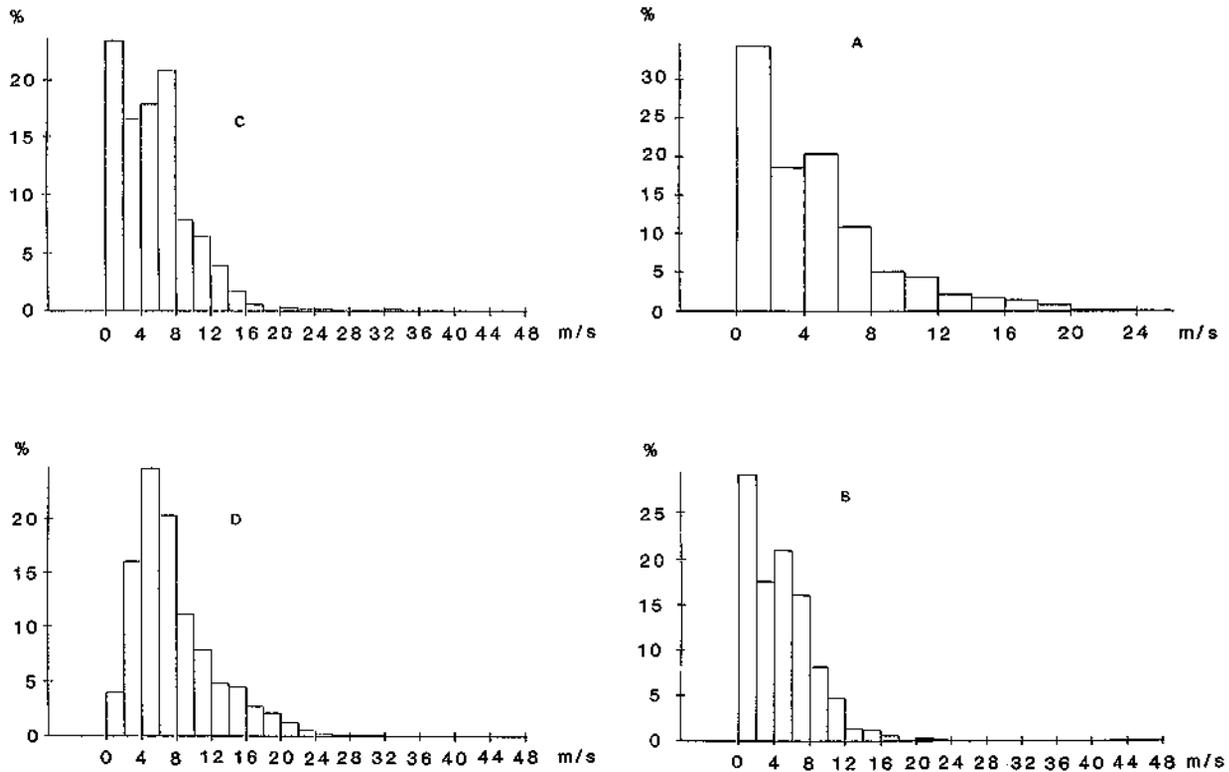


FIGURE 37 - Histogrammes des vitesses de vent (moyennées sur 10 minutes) correspondant aux données de la figure 35.
 a) histogramme obtenu pour la période 1920-1924,
 b) histogramme obtenu pour la période 1960-1964,
 c) histogramme obtenu pour la période 1965-1970,
 d) histogramme obtenu pour la période 1980-1985.

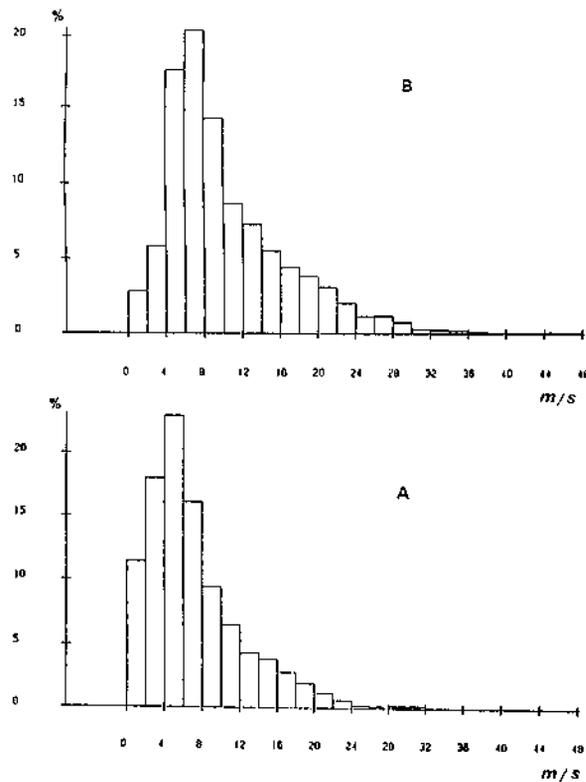


FIGURE 38 - Comparaison entre les histogrammes obtenus pour les vitesses de vent moyennées sur dix minutes (a) et pour les vitesses instantanées enregistrées entre 1979 et 1984 (b).

3 - QUELQUES TEMPETES ENREGISTREES DEPUIS 1911

Le tableau ci-dessous ne prétend pas être exhaustif : en effet, les mesures anémométriques n'ont pas été absolument continues pendant ces soixante-quinze ans et l'on observe des lacunes assez longues dans les archives dues le plus souvent à des défaillances du matériel. Sont reportées ici, des périodes où le vent moyenné sur dix minutes a été égal ou supérieur à 20 m/s.

Ces tempêtes sont assez exceptionnelles, certaines années sont plus « venteuses » que d'autres, mais on n'observe au maximum que trois à quatre coups de vent fort par an.

4 - VARIATIONS SAISONNIERES

On n'a pas trouvé de variation très nette entre les saisons quant à la distribution des vents soufflant à Monaco. Les automnes sont souvent caractérisés par une fréquence plus grande de vents d'Est mais nous avons vu que cette direction était très fréquente toute l'année. Le tableau montre que les tempêtes ont lieu principalement en hiver mais quelques forts coups de vents ont été enregistrés en été.

5 - CONCLUSION

Le rocher de Monaco est donc le plus souvent soumis à une légère brise de Sud-Est avec des vitesses de vents inférieures à 20 km/h.

Une dépression bien formée sur le golfe de Gênes entraîne des vents forts à Monaco. En général, la baie est bien abritée des vents de secteur ouest. Cependant, quand un Mistral très fort sévit sur la Méditerranée nord-occidentale, une composante NW à SW de ce vent peut induire des vitesses exceptionnelles.

Les vitesses enregistrées restent cependant modérées et les deux seules pointes de vent exceptionnelles enregistrées en soixante-quinze ans n'ont pas dépassé 166 km/h.

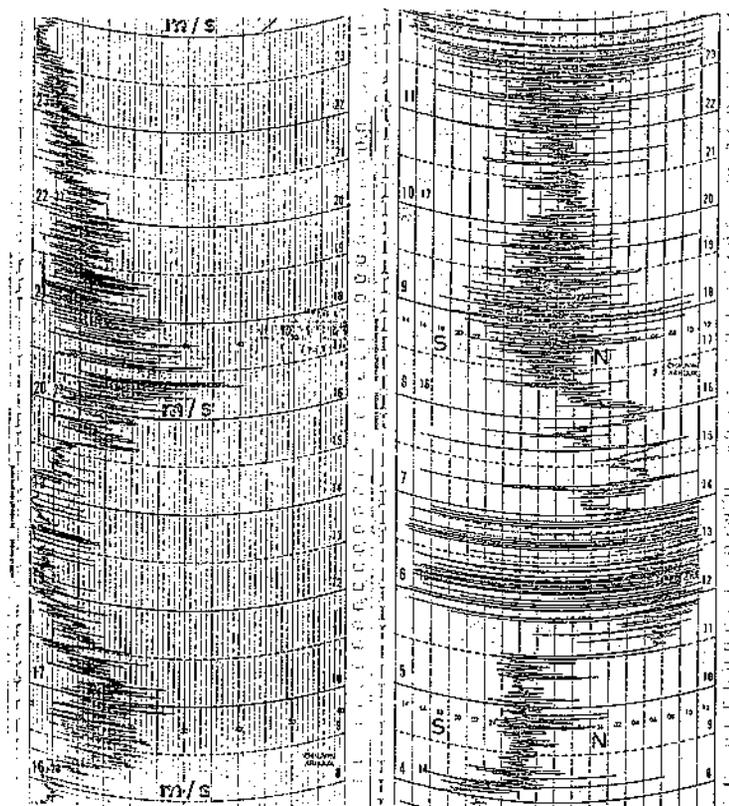


FIGURE 39 - Exemple d'enregistrement d'un coup de vent (20 janvier 1981). La vitesse instantanée est de 41 m/s, la vitesse moyennée n'est que de 37 m/s pour une direction NW (* à gauche enregistrement anémométrique donnant la vitesse du vent en fonction de l'heure. A droite enregistrement de la direction du vent pour la même heure).

30/04/1911	S S W	10 au 12/03/1934	W S W
29/05/1911	E N E	31/07/1937	N E
22/12/1911	W N W	29 au 31/01/1938	S W
26/12/1911	N E	11/02/1938	S W
08/04/1915	S S W	10/04/1938	W
07/12/1917	E	21/10/1938	S W
06/01/1920	N E	02 et 02/05/1939	E N E
20/02/1920	N E	22 au 25/07/1939	W, W N W
21/03/1921	N E	25 et 26/03/1940	E
21/01/1923	N N E*	17/04/1940	E
24/09/1924	E**	23 et 24/04/1940	E
31/10/1926	E N E***	01 au 04/10/1941	E
11/04/1927	S W	29 au 31/10/1941	W
12/02/1928	W S W	23 et 24/11/1941	E
31/10/1928	E N E****	25/01/1942	W S W
25/09/1929	E	20/08/1942	E N E
14/11/1929	E	24/11/1942	E
26/09/1933		07 au 10/03/1943	E
04/02/1934	N N E	17 au 19/01/1946	E
20/08/1952	S S W	25 au 29/10/1976	E
04/12/1952	W	02/12/1976	W
26/04/1953	N W	19/05/1977	E
06/06/1953	E	21 au 26/03/1978	W
20/02/1954	W	22 au 24/02/1979	W S W
12/06/1960	W S W	20 au 24/03/1979	S W****
17/12/1960	N E	15 et 16/06/1979	S W
05/01/1961	S W	11/12/1979	W N W
04/02/1961	S W	29 au 31/12/1979	S E
17/12/1961	E	04/02/1980	W
08/03/1964	N N E	15/04/1980	E
09/10/1964	N W	17/01/1981	N W
12/05/1967	E N E	26 au 28/04/1981	N W
23/08/1968	E N E	01 au 07/05/1981	N E
08/12/1968	N N E	09/12/1981	W
05/05/1969	E N E	02/03/1982	W
07/02/1970	W S W	06 au 09/11/1982	E N E
15/07/1970	W S W	18/06/1983	E N E
18/11/1970	E	27/11/1983	W
		09 au 10/02/1984	N N E
		24/02/1984	N N E
		03 et 04/10/1984	S E
		16/03/1985	W

Tableau : *Liste des tempêtes enregistrées à Monaco de 1911 à 1985*

* : tempête très violente 26 m/s établie

** : orage violent avec dégâts

*** : vent fort E N E donnant une pluie mélangée de grêle et de boue

**** : orage violent le pluviomètre est renversé.

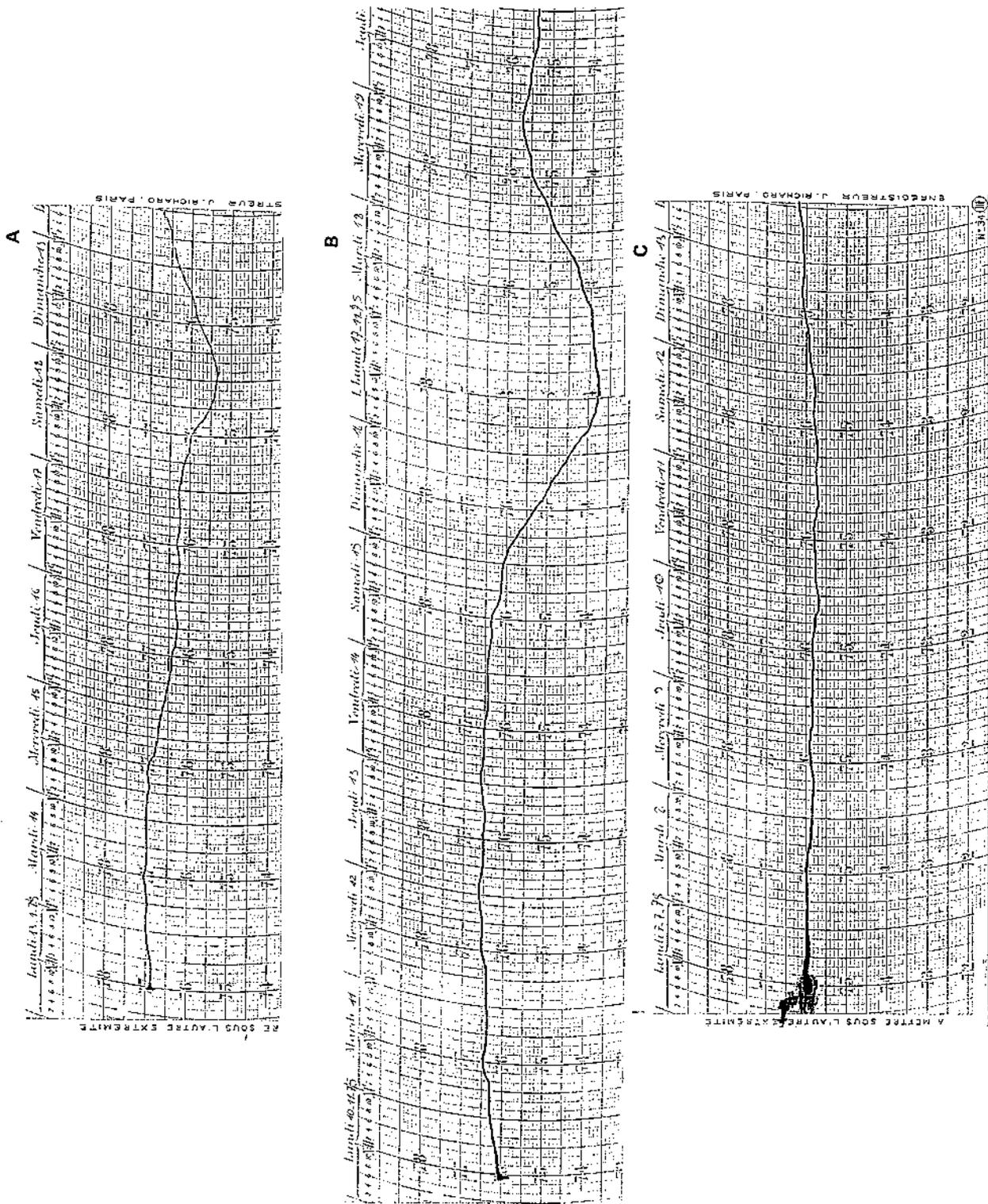


FIGURE 40 - Exemples d'enregistrement de la pression atmosphérique graduée en millimètres de mercure.

LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

1 - VARIATION DE LA PRESSION ATMOSPHERIQUE OBSERVEE A MONACO

La pression atmosphérique a été mesurée régulièrement depuis 1911. A la différence des autres paramètres, elle n'est pas une caractéristique climatique strictement régionale puisqu'elle définit une masse d'air qui ne séjourne qu'un temps limité au-dessus de la station d'enregistrement.

La pression atmosphérique a surtout un rôle de prévision : ses variations permettent d'annoncer plusieurs heures à l'avance un changement de temps. En règle générale, le baromètre baisse à l'avant d'un front chaud. Quand la situation ne se transforme pas très rapidement, la pression devient stationnaire dès le passage du front. Enfin, elle baisse un peu avant le front froid puis elle monte brusquement au passage de celui-ci. Pratiquement à Monaco, le baromètre baisse avant l'établissement du Mistral puis remonte ensuite. Elle baisse et reste basse pendant les dépressions de vent d'est (Figure 40-a).

La pression moyenne enregistrée au niveau de la mer, sur la Côte d'Azur est de 1.015 mb environ, moyenne sur 30 ans établie par la Météorologie Nationale Française (voir chapitre 2, figures 9 et 10) ; les enregistrements obtenus à Monaco en 1984 et 1985 fournissent une moyenne de 1.014,6 mb très proche de la valeur précédente.

Les fluctuations dues à des changements de temps sont de l'ordre de 4 à 10 mb en 24 heures. Dès qu'une baisse barométrique dépasse 7 mb, le passage d'une forte dépression est à craindre. On peut noter par exemple quelques valeurs extrêmes enregistrées lors de tempêtes :

- le 28 décembre 1951, saut de 5 mb en 6 heures et valeur de 983 mb. Quelques heures après, un fort Mistral se levait, permettant une visibilité exceptionnelle (la Corse est vue du Musée indique l'observateur de l'époque) et une humidité de 45 % ;

- le 16 novembre 1975, baisse de 36 mb en 18 heures et valeur minimale de 982 mb (Figure 40-b) précédant un fort coup de vent d'Est (19 m/s le 9 novembre). Il est à signaler que ce mois de novembre fut l'un des plus perturbé de la période étudiée avec un déficit de 30 % sur l'insolation et une température très inférieure à la moyenne ;

- entre le 6 et le 7 février 1984, on note une baisse de 11 mb en 24 heures et une valeur de 989,1 mb précédant de quelques heures une violente tempête de nord-est, avec des vents atteignant 137 km/h en vitesse instantanée puis 166 km/h le 9 février.

En été, le temps est souvent beau et stable ; on est alors dans la situation de « marais barométrique » assez caractéristique de la région ; la pression reste haute et remarquablement stationnaire pendant plusieurs jours : la figure 40-c représente un exemple d'enregistrement de ce phénomène.

En hiver, des situations anticycloniques avec pression haute et stable peuvent souvent être également observées (mais alors l'enregistrement n'est pas aussi rigoureusement plat qu'en été). Ainsi, la valeur maximale obtenue pendant la période 1984-1985 est de 1.033 mb, elle correspond au 2 décembre 1985, moment où la région était sous l'influence d'une masse d'air stable chaude et humide et la pression était restée très haute et sans grande variation pendant quatre jours.

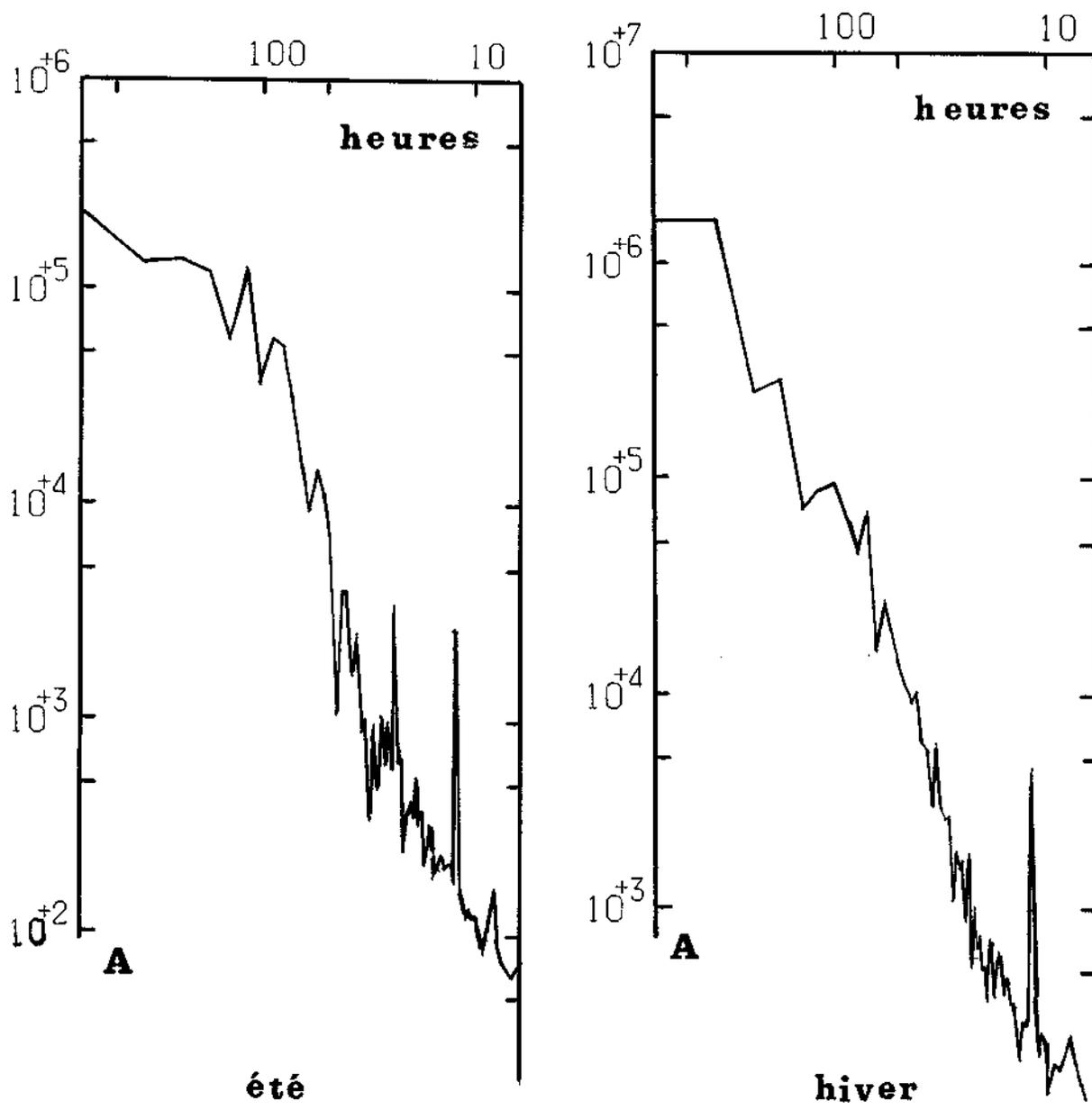


FIGURE 41 - Densité spectrale des mesures horaires de la pression atmosphérique obtenue pour une période estivale et pour une période hivernale.

Bien qu'il ne soit pas possible de mettre en évidence un net cycle saisonnier, comme par exemple la variation sinusoïdale de la température, la pression atmosphérique est en général plus élevée en été qu'en hiver. Ce fait est vérifié sur le tableau I, établi à partir des données de 1984 et 1985. Cependant, les moyennes mensuelles obtenues laissent apparaître des fluctuations assez erratiques (Tableau II). La valeur minimale calculée correspond à mai 1984, mois très pluvieux avec système dépressionnaire installé (cette année-là, le Grand Prix Automobile de Monaco fut interrompu à cause des conditions météorologiques). La valeur maximale correspond à octobre 1985, mois exceptionnellement beau, sans une journée de pluie, avec une situation anticyclonique stable sur toute la région.

2 - ANALYSE SPECTRALE

Des analyses spectrales ont été effectuées sur la série des observations trihoraires de janvier 1984 à décembre 1985, d'abord sur la totalité de la série puis selon un découpage été-hiver (Figure 41).

Sur tous les spectres, on retrouve des oscillations à 12 heures et 24 heures qui représentent la variation journalière de la pression, plus élevée en milieu de journée que le soir ou le matin, sauf perturbation météorologique brutale. Cette oscillation est liée aux variations de la température journalière par l'équation d'état ($P.V. = nR.T.$). Les variations de la température étant plus marquées en hiver qu'en été, l'amplitude de cette oscillation est nettement plus importante : 1,94 mb en hiver à 1,50 mb en été. Il faudra tenir compte de l'importance de cette variation diurne à l'heure de l'observation pour quantifier l'influence d'une perturbation (par exemple une baisse de pression de 3 mb à 12 heures correspond en fait à une baisse de 5 mb – valeur non négligeable, indice souvent d'un changement de temps – par contre une baisse de 3 mb à 22 heures ne représente en réalité qu'une diminution de 1 mb).

On observe également des pics à 2, 3 jours puis des pics très nets à 4, 5 jours, les premiers étant vraisemblablement les harmoniques des seconds. Les oscillations de 4, 5 jours ont été trouvées très souvent dans les enregistrements de pression atmosphérique en différentes parties du globe et notamment se retrouvent très nettement sur tout le bassin méditerranéen (Gupta, 1977). Elles seraient liées à des fluctuations planétaires des masses d'air.

On retrouve également d'autres pics qui paraissent plus spécifiques à la région, 33 heures, 8 jours.

Si l'on compare les spectres calculés pour l'hiver et l'été, on observe que pour les périodes variant entre 6 heures et 7 jours, les spectres présentent la même pente mais une ordonnée à l'origine supérieure en hiver qu'en été : aux hautes fréquences les oscillations sont plus importantes en hiver (par exemple l'oscillation diurne différente d'une saison à l'autre), ceci étant bien sûr lié à la plus grande stabilité du champ de pression en été qu'en hiver.

Cette étude permet donc de mieux analyser l'influence de la circulation atmosphérique générale sur la pression atmosphérique mesurée à Monaco et de mettre en évidence des oscillations spécifiques dues aux caractéristiques locales.

Par exemple, l'oscillation de 33 heures serait particulière à la circulation marine en mer Ligure et modulerait l'échange des masses d'eau (superficielle et intermédiaire) à travers le canal de Corse (Astraldi, 1987). La relation entre ces deux oscillations (amplitude et phase) est un facteur important dans la connaissance de la circulation marine dans la baie de Monaco.

Notons que l'oscillation de 2,5 jours se retrouve sur les enregistrements de courant, du niveau de la mer et des vents effectués à Monaco. Leur relation n'est toujours pas mise en évidence mais il se trouve que la période de résonance de l'amplitude du niveau de la mer dans le bassin occidental de la Méditerranée, est également de 2,5 jours (Garrett, 1983). Cet exemple illustre l'interdépendance des différents paramètres et valorise l'étude de la pression atmosphérique dans celle plus globale des phénomènes marins.

D'une manière générale la détermination de l'amplitude des différentes oscillations au point de mesure, permet de mieux évaluer l'importance réelle d'une perturbation au lieu de mesure.

Dates	Pression atmosphérique (mb)
hiver 84 0101 84 0105 84	1013,7
Été 84 0105 84 0111 84	1014,2
Hiver 85 0111 85 0105 85	1012,6
Été 85 0105 85 0111 85	1014,0
0111 85 0101 86	1015,0
0101 84 0101 86	1014,6

Tableau I: *Pression atmosphérique (au niveau de la mer)*

Mois	Année 1984	Année 1985
Janvier	997.10	991.9
Février	997.95	999.9
Mars	994.25	994.9
Avril	996.36	994.8
Mai	990.70	994.3
Juin	998.83	997.0
Juillet	1000.29	999.4
Août	998.70	998.4
Septembre	994.45	1001.9
Octobre	1001.30	1004.0
Novembre	995.50	994.2
Décembre	1002.80	1001.3

Tableau II: *Pression atmosphérique en millibars (à la station)*

INSOLATION

La durée de l'insolation en un lieu donné est le nombre d'heures pendant lesquelles le soleil n'est pas occulté par les nuages.

Cette donnée n'a pas été mesurée en continu pendant les soixante-quinze ans. Les observations héliographiques ont été effectuées de 1927 à 1942 puis en 1950. Elles ont repris de 1965 à 1971. Elles sont de nouveau enregistrées depuis 1985. Nous avons donc au total 25 ans de mesures (Figure 42).

1 - INSOLATION ANNUELLE

Si l'on compare le nombre d'heures d'insolation enregistrées chaque année, on observe deux années anormales, 1947 et 1949.

Pendant la période d'observation, le nombre d'heures de soleil a oscillé entre 2.186 heures et 2.751 heures. Mis à part ces deux années d'ensoleillement particulièrement faibles (1947 et 1949), on n'observe pas d'évolution sur le nombre d'heures de soleil pendant la période étudiée. L'année 1985 fut d'ailleurs très ensoleillée (2.700 heures). Cependant l'enregistrement ayant été discontinu, on ne peut tirer de conclusion sur la variation de l'ensoleillement en soixante-quinze ans.

2 - VARIATION MENSUELLE DE LA DUREE D'INSOLATION

Les moyennes mensuelles ont été calculées pour 25 ans et sont reportées sur le tableau ci-dessous. La figure 43 illustre la variation approximativement sinusoïdale de la durée d'insolation avec un minimum en janvier et en décembre et un maximum en juillet.

On note 50 % environ de jours d'hiver, et 73 % de jours d'été ensoleillés.

CONCLUSION

Les heures des levés et couchers du soleil, calculées en fonction de la saison et de la latitude, sont reportées dans l'Annuaire du Bureau des Longitudes. A partir de ces données, on a établi la durée du jour, dans la région niçoise : elle oscille entre 15,5 heures, au solstice d'été, et 8,9 heures au solstice d'hiver.

A Monaco, même par beau temps, le nombre effectif d'heures de soleil est légèrement inférieur à ce nombre, du fait de l'ombre portée de la « Tête de Chien » sur le Musée océanographique, en fin de journée (Figure 12). Cette influence orographique explique la petite différence entre la valeur de l'insolation annuelle à Monaco (2.575 heures) et celle de Nice (2.754 heures).

La comparaison entre ces valeurs et celles mesurées dans d'autres stations (par exemple 1.715 heures à Paris) illustre l'ensoleillement exceptionnel de la région.

Mois	Heures d'ensoleillement
Janvier	149.7
Février	158.9
Mars	185.5
Avril	210.0
Mai	248.1
Juin	281.1
Juillet	329.3
Août	296.7
Septembre	224.7
Octobre	199.0
Novembre	155.2
Décembre	136.5
Total pour l'année	2574.7

Tableau : Moyennes mensuelles en heures de l'insolation établies sur une période de 25 ans

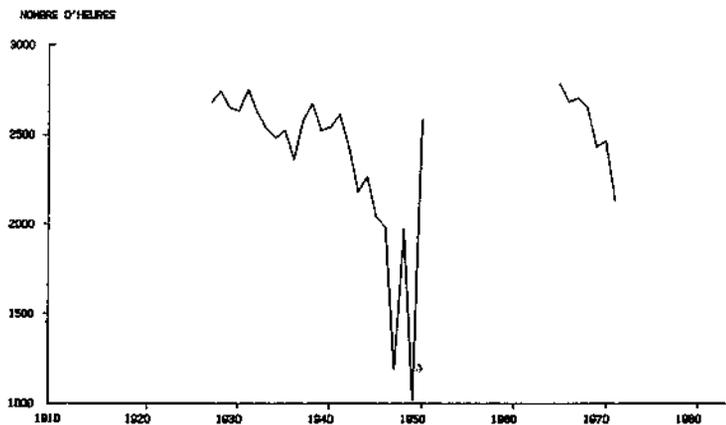


FIGURE 42 - Durée d'ensoleillement annuel mesurée à Monaco entre 1911 et 1985.

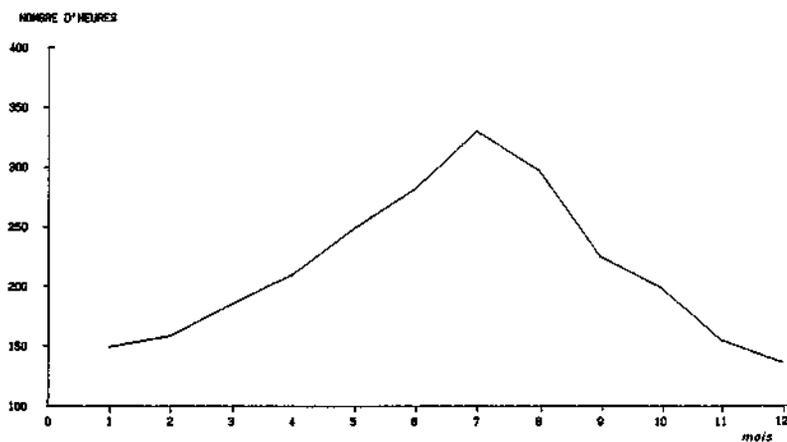


FIGURE 43 - Variation annuelle de la durée d'ensoleillement.

L'HUMIDITE

La caractéristique essentielle du degré hygrométrique est son extrême variabilité même d'une heure à l'autre.

La figure 44-a illustre cet état de fait.

L'hygrométrie est liée aux moindres variations des masses d'air. Enregistrée à la côte, elle est également fonction de l'évaporation à la surface de la mer. Nous rappelons la formule de Laevastu (1970) qui fournit ce taux d'évaporation :

$$E = C_z \cdot V \cdot (e_s - e_a)$$

en fonction de la vitesse du vent : V , de la tension de vapeur saturante à la température de surface de la mer e_s , et de la tension de vapeur de l'air au-dessus de la mer : e_a ; C_z étant un coefficient de frottement.

L'hygrométrie est donc une fonction complexe des autres paramètres météorologiques (vent, température) et température de la mer.

Par temps de Mistral, l'air est très sec. Le degré hygrométrique est alors inférieur à 30 % (Figure 44-b). Par contre, quand il pleut ou quand le vent d'est souffle, il est de l'ordre de 98 à 100 % (Figure 44-c).

1 - VARIATIONS SAISONNIERES

L'humidité relative n'a été relevée que de 1911 à 1971 puis de 1978 à 1985.

Les moyennes mensuelles de l'humidité, relevée trois fois par jour pendant 61 ans, ont été effectuées et sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Contrairement à beaucoup d'autres régions, l'humidité estivale est supérieure à l'humidité hivernale. Cela s'explique par la topographie de la Principauté. L'air chaud chargé de l'humidité qui s'évapore de la mer, stagne sur la Principauté, arrêté par les hauts reliefs de la Tête de Chien et surtout du Mont Agel (Figure 12). Nous avons vu que l'été correspond sur la Méditerranée à une période de grande stabilité avec des coups de vent plutôt rares. Le vent faible qui souffle d'ordinaire en été n'est pas assez violent pour balayer cet air humide qui a tendance à donner des brumes le matin et le soir par condensation de la vapeur d'eau. Il est très fréquent d'avoir des journées d'été où l'humidité reste en permanence supérieure à 90 % (44-c). Par contre, les périodes de fort Mistral qui se produisent plus souvent en hiver qu'en été, déterminent un degré hygrométrique très faible. En hiver, ces périodes coïncident avec une visibilité exceptionnelle. On voit la Corse du Musée océanographique (Figure 44-b).

2 - VARIATIONS ANNUELLES

On a reporté sur la figure 45 l'humidité moyenne annuelle mesurée de 1911 à 1981 (sauf pour la période de 1972 à 1977 où les données sont manquantes).

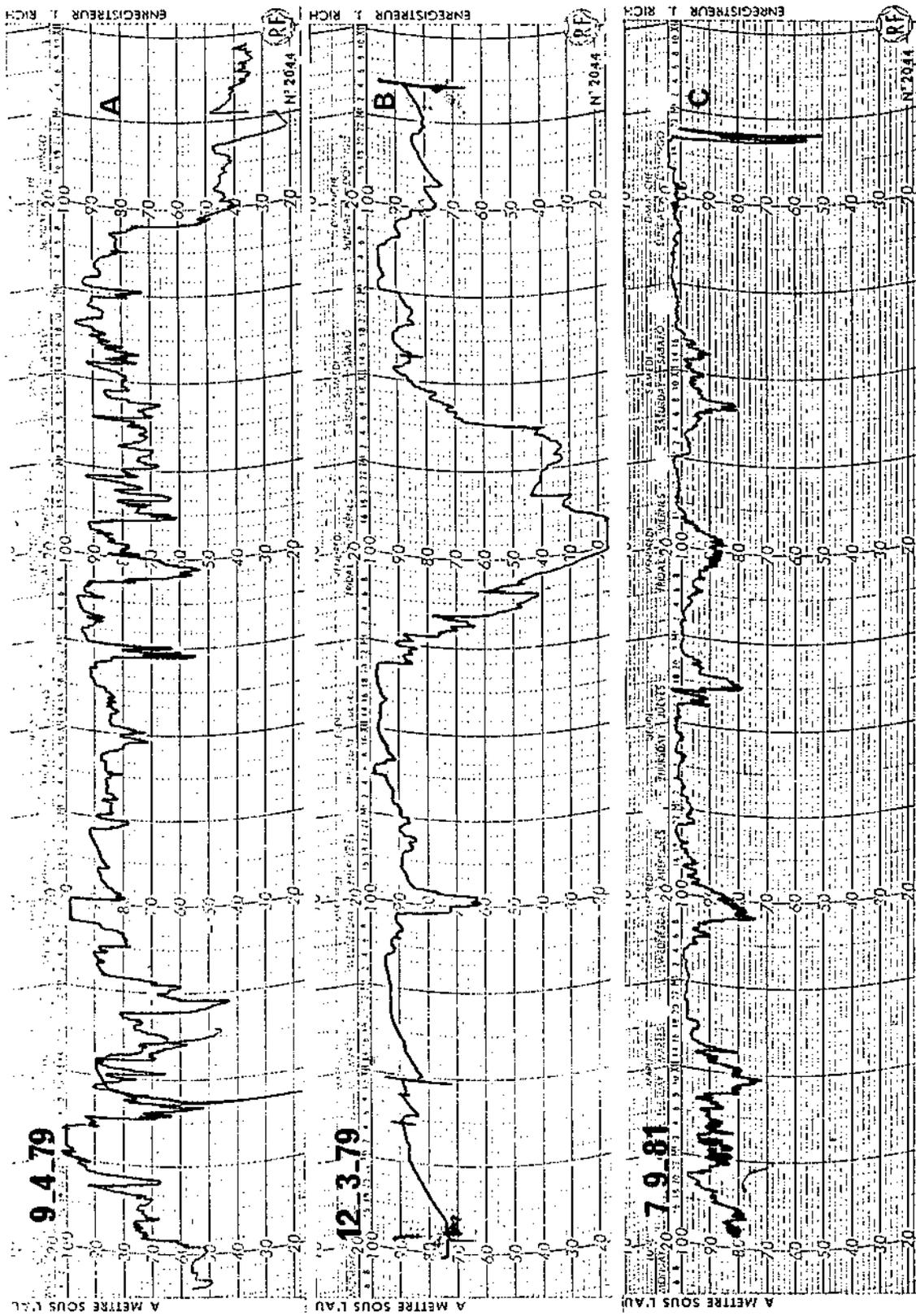


FIGURE 44 - Exemples d'enregistrement hygrométrique hebdomadaire.

La moyenne annuelle obtenue sur 69 ans est de 72,8% avec un écart type de 4,9%.

La série des données n'étant pas complète, il n'est pas possible de faire une étude statistique sur la tendance ou les cycles de ce paramètre sur soixante-quinze ans. Cependant, la courbe obtenue est à rapprocher de celle de la pluie ; aux années sèches correspond souvent un taux annuel d'humidité assez important. Nous y décelons les maxima en 1948 et 1983 et les minima en 1914 et 1970. Entre 1911 et 1951 on observe une augmentation de l'humidité ; on a calculé une courbe de régression :

$$H = 0,25 T + 66,75$$

H étant exprimé en % d'humidité et T en année depuis 1911.

Le coefficient de régression, significatif à 90% est de 0,7. Ce qui revient à obtenir une amplitude moyenne de fluctuation de 10,2% entre années «sèches» et années «humides».

CONCLUSION

Ces dernières années le taux d'humidité observé était assez important et atteignait le maximum des valeurs enregistrées depuis soixante-quinze ans.

Ce résultat corrobore l'observation faite par la population monégasque unanime à parler des brumes sur la Turbie. Cette évolution est peut-être à relier à celle des précipitations et nous serons tout aussi prudents quant aux conclusions à tirer sur un éventuel changement climatique (voir chapitre sur les précipitations).

Mois	Degré d'humidité	Mois	Degré d'humidité
Janvier	66.7	Juillet	72.7
Février	67.7	Août	73.2
Mars	71.9	Septembre	73.4
Avril	72.3	Octobre	71.4
Mai	75.4	Novembre	67.7
Juin	73.1	Décembre	66.2

Tableau : Moyennes mensuelles du pourcentage d'humidité relevé trois fois par jour pendant 61 ans

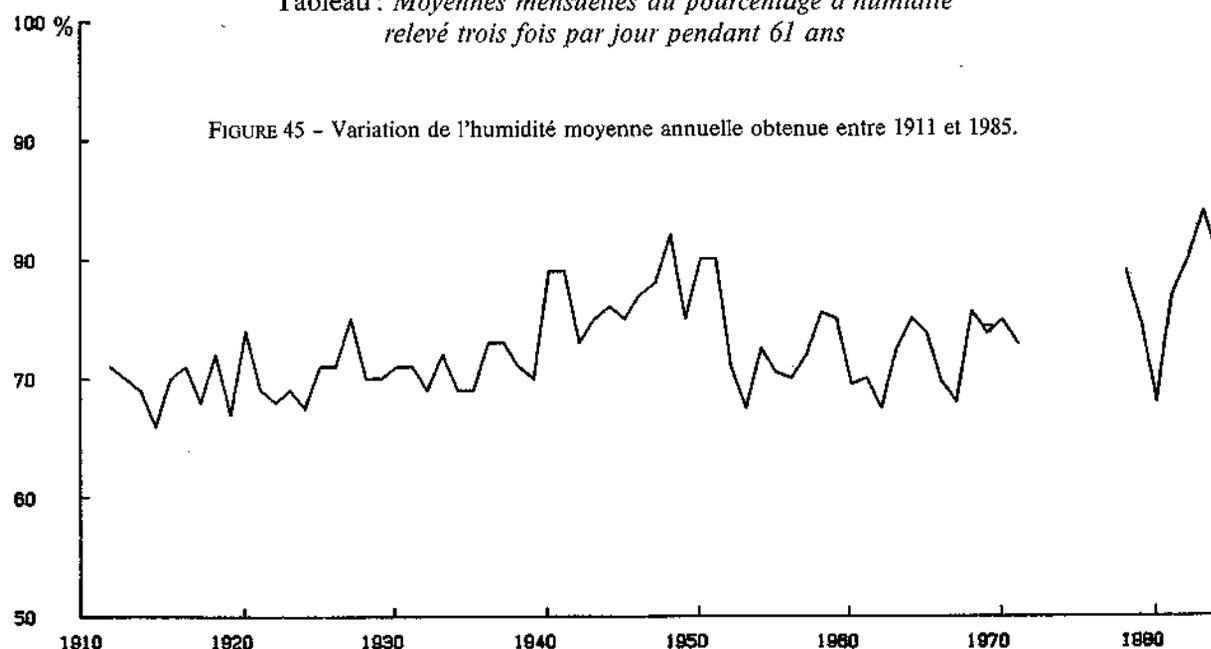




FIGURE 46 – Statue de Son Altesse Sérénissime Albert 1^{er}, dans les jardins Saint-Martin, près du Musée Océanographique.



FIGURE 47 – Stalactites autour d'une fontaine.



FIGURE 48 – Monaco sous la neige et dans le brouillard.



FIGURE 49 – Canons enneigés devant le Palais Princier.

LA NEIGE

1 - LA NEIGE A MONACO

Etant donné la douceur des températures enregistrées à Monaco, la neige sur la Principauté est un phénomène tout à fait extraordinaire.

On peut dresser la liste des jours où la neige est tombée sur le Rocher de Monaco :

- le 20 décembre 1923 (quelques flocons) ;
- le 12 mars 1925 (chute de neige entre 13 et 14 heures) ;
- en janvier 1929 (quelques flocons le 16 puis de la neige du 24 au 27 avec 2 cm d'épaisseur le 27 janvier) ;
- en février 1929 (le 1^{er} et le 2 puis du 11 au 13 avec une couche de 5 cm le 12) ;
- le 25 décembre 1929 (chute de neige qui fond immédiatement) ;
- le 9 février 1932 (légère couche) ;
- le 8 mars 1935 (quelques flocons) ;
- le 25 mars 1939 (neige qui fond au contact du sol) ;
- du 17 au 21 janvier 1940 (le 19 rafale de neige de courte durée et tonnerre) ;
- du 13 au 17 février 1940 (5 cm le 15 février) ;
- les 8, 20 et 28 janvier 1945 ;
- le 8 décembre 1945 ;
- les 5, 6, 24 et 26 janvier 1947 ;
- les 19 et 20 février 1948 ;
- le 5 mars 1949 ;
- du 6 au 8 mars 1955 ;
- en février 1956 (6 jours de neige) ;
- le 12 mars 1956 ;
- les 22 et 23 janvier 1958 ;
- les 9 et 10 mars 1958 ;
- le 29 janvier 1962 (quelques flocons) ;
- le 13 janvier 1963 (1 cm à Monaco, la neige reste sur le Rocher) ;

- le 14 janvier 1963 (3 cm de neige) ;
- le 15 janvier 1963 (la neige reste) ;
- les 29 et 30 janvier 1963 (il neige mais la neige ne reste pas) ;
- les 7, 8 et 28 décembre 1968 (1 cm mais ne reste pas) ;
- les 4 et 5 mars 1978 (flocons de neige, température descendue à -3°).

En soixante-quinze ans, il n'y eut à Monaco que deux véritables épisodes neigeux : l'un en 1956, l'autre en 1985.

En 1956, le froid débuta dès le 2 février avec une baisse de 6° pendant la nuit (le minimum est alors de 0° sur la terrasse du Musée). La neige ne tomba que le 9 février dans la soirée. Trois centimètres dès le soir au Jardin exotique puis 6 à 9 cm le 10 février. A Monaco-Ville, la neige reste, mais sa hauteur est négligeable. Le 11 février, la hauteur du tapis neigeux atteint 12 cm au Jardin exotique. Cette neige a persisté jusqu'au 21 février ; le 19 février on enregistre encore -2° au Musée, les températures ne remonteront réellement qu'à partir du 23 : +3,5° au Musée en température minimale.

La plus exceptionnelle chute de neige a eu lieu en janvier 1985. C'est dans l'après-midi du 5 janvier que tombe la première neige importante (3 cm environ au Jardin exotique). Les températures minimales enregistrées du 7 au 19 sont négatives : le 8 janvier les températures varient de -2,5°C au minimum à +3° au maximum, donc une journée particulièrement froide pour Monaco.

La neige recommence à tomber le 7 au soir (vers 20 heures), la nuit du 7 au 8 puis pratiquement en continu le 8. Les hauteurs de neige mesurées sont d'environ :

- 12 cm le 7 janvier 1985,
- 17 à 18 cm le 8 janvier au Jardin exotique.

A partir du 10 janvier, les températures remontent légèrement.

2 - LA NEIGE SUR LE MONT AGEL

Le Mont Agel culmine au-dessus de Monaco à une altitude de 1.140 m. Il est souvent recouvert d'une mince couche de neige chaque jour d'hiver froid et pluvieux.

Comme il est en vue directe de la terrasse, les observateurs ont reporté fidèlement sur les bulletins météorologiques les jours de neige sur le Mont Agel jusqu'en 1960. Cette liste des journées peut être une indication climatique utile et correspond à des jours particulièrement pluvieux et froids à Monaco.

3 - MONACO SOUS LA NEIGE

Etant donné son caractère exceptionnel, elle pose évidemment quelques problèmes.

Le Service des Travaux Publics a dû emprunter les 7 et 8 janvier 1985 des chasse-neige pour dégager les rues de la Principauté.

Elle cause des dégâts à la végétation surtout aux plantes succulentes du Jardin exotique mais elle est l'occasion de prendre de belles photos. Nous terminerons ce chapitre par ces vues de Monaco-Ville sous la neige prises par A. Vatrican.

CONCLUSION

Ces soixante-quinze ans de données météorologiques, enregistrées au Musée océanographique de Monaco, montrent incontestablement la douceur du climat monégasque :

Les températures ont une faible amplitude annuelle ; correspondant à des hivers très doux et des étés chauds mais non torrides (de 10,5° à 23,7° en moyenne), les valeurs extrêmes enregistrées pendant ces soixante-quinze ans sont :

- 4° les 11 et 15 février 1956 et
- 34° le 29 juin 1945 et le 3 août 1949.

Les précipitations à Monaco atteignent une hauteur moyenne annuelle de : 763 mm, réparties en peu de jours (en moyenne 63 jours par an).

L'insolation y est donc privilégiée (2.575 heures de soleil par an). La baie de Monaco est, de plus, abritée des forts coups de vent, surtout d'Ouest. La vitesse maximale instantanée enregistrée est de 166 km/h alors que la moyenne des vents n'est que de 20 km/h.

Ainsi, ces soixante-quinze ans de mesure nous ont permis de calculer les caractéristiques moyennes du climat actuel et de relever les fluctuations auxquelles nous pouvons nous attendre. Ces archives restent un support objectif à notre mémoire.

Non, les étés n'étaient pas vraiment plus chauds ni les hivers plus secs au début du siècle, même si certaines années ont présenté les anomalies que nous avons relevées. On peut aussi constater, en examinant ces données, que certains dictons populaires ne se vérifient pas vraiment du moins sur le plan local.

Prenons par exemple « Noël au balcon, Pâques aux tisons ».

Nous avons étudié sur vingt-cinq ans les conditions météorologiques du 25 décembre et du jour de Pâques suivant. Pendant cette période (1921-1945) on note huit jours de Noël très doux suivis par cinq jours de Pâques doux et seulement trois jours de Pâques froids !

La réciproque n'est d'ailleurs pas davantage vérifiée ! Les Noëls froids ne sont pas forcément suivis de jours de Pâques chauds et ensoleillés.

Nous avons vu que les fluctuations des principaux paramètres météorologiques pouvaient être parfois liées soit à des phénomènes astronomiques, soit à la circulation dans la haute atmosphère. Ce qui est vrai pour les fluctuations rapides du climat l'est aussi pour les évolutions à long terme.

Comment situer les caractéristiques météorologiques enregistrées sur ces trois quarts de siècle dans l'histoire climatique de la terre ?

Peut-on prévoir le climat de demain ?

Les grandes fluctuations du climat passé sont connues grâce à la paléoclimatologie. Les oscillations du niveau de la mer, connues principalement par les mesures Carbone 14 (Y. Thommeret, 1985), sont reliées aux changements importants du climat. La mer a subi cinq grandes variations du niveau

depuis cent cinquante mille ans (Figure 50). Ainsi alternativement le Rocher de Monaco a-t-il été sous les eaux ou sous un climat froid et aride.

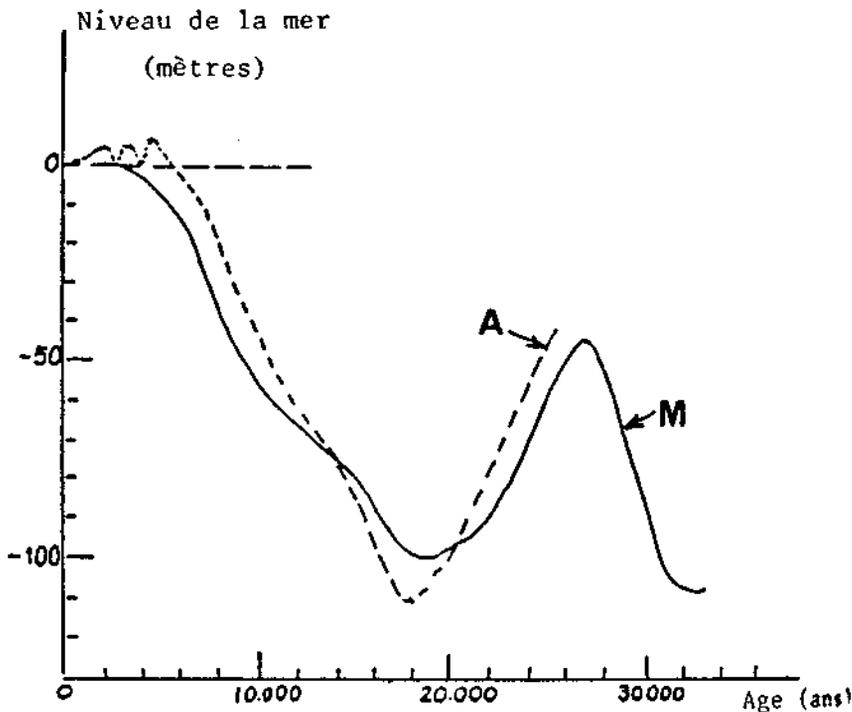


FIGURE 50 - Variation du niveau de la mer depuis 30.000 ans, repris de Labeyrie (1984).

Jacques Labeyrie (1984) dans son livre « L'homme et le climat » nous montre que « l'on trouve une coïncidence presque parfaite entre les dates de maximum et de minimum de glaciation et les fluctuations de l'insolation ». Si l'on se fonde sur ces cycles de l'activité solaire, nous en déduisons que les prochains siècles verront la température baisser un peu et les zones arides devenir plus sèches mais il faudra probablement attendre cinquante mille ans avant que ne se produise la prochaine grande glaciation.

A l'échelle historique, les fluctuations plus rapides des conditions climatiques ont été observées. Ainsi, Emmanuel Le Roy Ladurie (1967) a retracé l'histoire du climat depuis l'An mil... Il s'est fondé d'abord sur des textes historiques puis sur des faits bien précis : voici quelques-unes de ses conclusions.

A partir des dates des vendanges, il a établi « la chronique des saisons brutales, des étés frais, des printemps doux ou glacés ». Les textes relatant l'avance ou le recul des glaciers des Alpes lui ont permis de préciser les périodes d'hivers rigoureux ou de la « petite ère glaciaire » du XVII^e siècle, qui a beaucoup marqué cette époque et provoqué des famines chez les paysans. Le 28 juin 1675, Madame de Sévigné écrivait à sa fille, alors en Provence : « Il fait un froid horrible, nous nous chauffons et vous aussi, ce qui est une bien grande merveille » et se demandait si « le procédé du soleil et des saisons était changé ». Les archives historiques mentionnent six mauvaises récoltes de 1646 à 1652 dues à une succession d'années humides avec des printemps glacés et des étés orageux.

La connaissance du climat de ces derniers siècles est facilitée aussi par la dendrochronologie ou étude de l'épaisseur des stries de croissance des arbres : les années favorables l'anneau est large et épais, les années défavorables, il est mince, étroit, à peine marqué parfois. « Ainsi les arbres livrent année par année, dans le feuilleté de leurs anneaux décroissants, toute la chronique d'une pluviométrie », écrit E. Le Roy Ladurie. Les fluctuations du climat ont pu être vérifiées dans notre région, justement par une étude dendroclimatique, celle des cernes des mélèzes de la vallée des Merveilles (F. Serre, 1978). La variation de ces cernes corrobore assez bien les grands épisodes climatiques définis en Europe par H. Lamb (1965) et E. Le Roy Ladurie (1967), notamment pour la période médiévale très douce (1130-1360) et le XVII^e siècle froid.

Cependant, ces oscillations seraient d'amplitude faible, un à deux degrés en moyenne annuelle. Ceci n'exclut pas des vagues de froid limitées à deux mois, qui expliqueraient, par exemple, les descriptions d'hivers très rigoureux, mais « suffisantes pour déséquilibrer au profit de l'accumulation la balance budgétaire des glaciers dont année après année le volume a augmenté » d'après Le Roy Ladurie.

J. Dettwiller (1979) retrace la chronique des hivers froids et des journées de canicule, tout en relativisant cette notion d'anomalie plus ou moins marquée d'une région à l'autre. Si en janvier 1709, le froid fut généralisé : « Tous les oliviers, orangers, figuiers périrent de Perpignan à Nice... Le vin gela... Des cloches cassèrent à Paris... On alla du Danemark en Suède à pied sur la glace... » En janvier 1979 par exemple, la vague de froid fut beaucoup plus limitée en temps et sensible surtout dans le Nord-Ouest de la France (-18,7°C près de Caen), alors qu'elle ne fut pas perceptible à Monaco.

Tous les auteurs s'accordent sur l'augmentation des températures depuis un siècle, marquée par des hivers beaucoup plus doux. Ce réchauffement ne s'est d'ailleurs pas produit de façon uniforme. Il fut plus important dans les régions nordiques qu'aux latitudes plus basses. Par exemple, la moyenne annuelle des températures enregistrées à Copenhague a augmenté de 1,4°C entre 1850 et 1955 alors que dans les régions méditerranéennes, ce réchauffement fut beaucoup moins sensible et plus tardif. La figure 51 donne les fluctuations moyennes de la température entre 1880 et 1960 pour l'hémisphère nord (Budyko 1969). On peut vérifier que cette courbe une fois lissée est très bien corrélée à la courbe de l'ensoleillement pendant cette période.

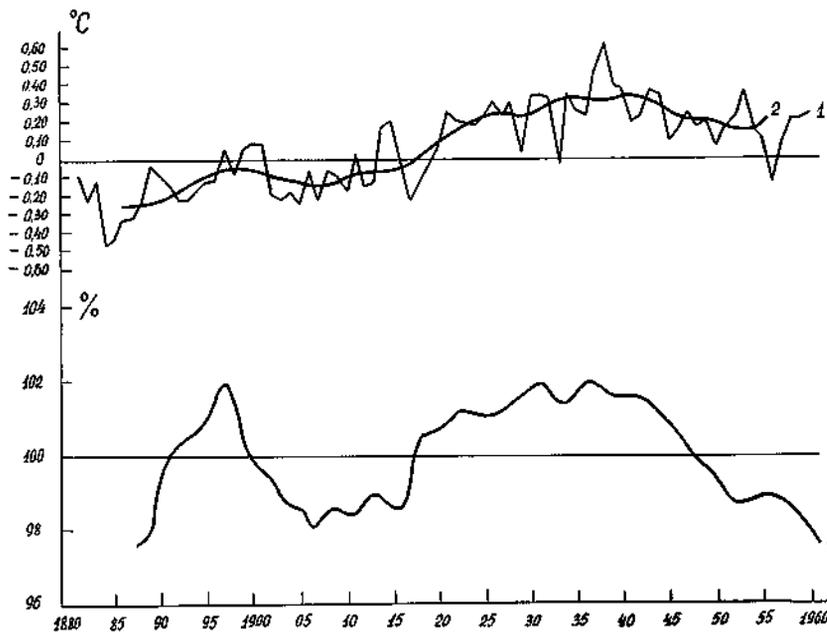


FIGURE 51 - Variation séculaire de la température moyenne de l'hémisphère nord et du rayonnement solaire direct, repris de Budyko (1969).

Nous pouvons maintenant comparer ces données générales avec nos résultats (Figure 25). Nous obtenons des années particulièrement chaudes entre 1941 et 1965 et une courbe de variations assez semblable à celle de Budyko. Notons qu'à Monaco, l'amplitude moyenne de ce réchauffement est de l'ordre de 0,3°C.

A partir de cette connaissance des climats passés et des fluctuations moyennes que nous savons relier à des cycles planétaires (surtout l'activité solaire), peut-on prévoir le climat futur ?

Les modèles actuels de l'évolution à long terme ne concernent que les grandes tendances et ne peuvent rien prévoir pour une région précise. En effet, un grand changement du climat planétaire se traduit par d'infimes modifications de la température moyenne du globe. Ces grandes tendances calculées d'après les cycles observés, peuvent être contrecarrées par deux types d'incidents : les uns naturels, les autres dus à l'homme. Un exemple de catastrophes climatiques naturelles est fourni par la rupture climatique de la fin du secondaire qui fit disparaître les dinosaures. Ce brusque changement serait dû à l'impact d'une énorme météorite dans notre atmosphère. « La poussière délogée aurait suffi à tuer les plantes et

ainsi à acculer les animaux à la famine » écrit J. Labeyrie. On peut aussi citer les grandes éruptions volcaniques qui chargent l'atmosphère en poussières au point de faire diminuer de manière non négligeable l'énergie solaire atteignant notre planète. Ainsi, l'éruption du volcan El Chichon en 1982 permit aux chercheurs d'étudier en détail les effets des aérosols volcaniques et de vérifier que la température de l'hémisphère concerné baisse de 0,3 degrés en moyenne pendant un à trois ans après une éruption majeure.

L'action de l'homme sur le climat est une donnée relativement nouvelle. A l'heure actuelle, le problème des climatologues est l'augmentation du gaz carbonique rejeté dans l'atmosphère par les activités humaines et qui vient s'ajouter aux variations naturelles de ce gaz. Il a la propriété d'être transparent aux courtes longueurs d'ondes. Il produit un effet de serre en retenant la chaleur rayonnée par la terre. Cette augmentation de « CO₂ » entraînera un réchauffement moyen de l'atmosphère, une amplification de la circulation des masses d'air et une diminution du bilan hydrique (donc plus de sécheresse). Une équipe scientifique (J. Jouzel et al, 1987) vient de mettre en évidence de façon irréfutable une corrélation entre le climat terrestre et la teneur en gaz carbonique de l'atmosphère en analysant les carottes de glace antarctiques, chaque période glaciaire correspond à une chute de « CO₂ » atmosphérique. L'importance de sa teneur dans l'atmosphère apparaît primordiale dans le déclenchement des périodes de glaciation et renforcerait considérablement les effets des variations de l'insolation.

La quantité de gaz carbonique dans l'atmosphère augmente chaque année de 0,4%. On a calculé qu'un doublement de la quantité de « CO₂ » provoquerait une augmentation moyenne de la température de la Terre de 2 à 3°C entraînant la fonte des glaciers des pôles et une élévation du niveau de la mer de cinquante mètres à cent mètres.

C'est à ce niveau des prévisions qu'intervient le rôle primordial de la mer. Jusqu'ici, la moitié du gaz carbonique due à l'industrialisation a été absorbée par les océans. Or, le temps de réponse de cette « pompe biologique » que représente l'absorption du « CO₂ » par les organismes marins est long ; il est de plus, fonction de la circulation océanique, elle-même tributaire de la circulation atmosphérique.

Au cours de ce travail, nous avons tenté de montrer l'interdépendance des phénomènes océaniques et météorologiques. Plus que jamais, une modélisation du climat passe par une étude commune océanographique et météorologique. La météorologie a donc bien sa place au Centre Scientifique de Monaco comme le soulignait le Prince Albert 1^{er} : « le domaine de l'atmosphère est directement influencé par les lois qui régissent le domaine liquide de notre monde » (1) et une rétrospective des données climatiques garde toute sa valeur pour rester à l'écoute des changements climatiques.

(1) Conférence de Bruxelles 1910.

BIBLIOGRAPHIE

- ARLERY R., (1979) — *Le climat de la France* — Ministère des Transports, Météorologie Nationale.
- BERENGER M., (1955) — *Essai d'étude météorologique du bassin méditerranéen*, Mémorial de la Météorologie Nationale.
- BUDYKO M.I., (1969) — *The effect of solar radiation variations on the climate of the earth*, Tellus XXI, 5 p. 611-619.
- DETTWILLER J., (1979) — *Froid... et chaud* — Bulletin d'information de la Météorologie Nationale, n° 45.
- GARNIER M., (1962) — *Mémorial de la Météorologie Nationale n° 50* — «normes climatologiques 31-60».
- GASPARINI G.P., MANZELLA G.M.R., (1985) — *Long period oscillations in the ligurian sea* — *Oceanologica acta* 8, n° 1, pp. 23-28.
- JOUZEL J., LORIOUS C., PETIT J.P., GENTHON C., BARKOV N.I., (1987) — *Vostok ice core : a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle* — *Nature*, 329, pp. 403-408.
- LABEYRIE J., (1985) — *L'homme et le climat* — Edition Denoël.
- LEVASTU T., CLARKEL L., WOLFF P.M., (1970) — *Annual cycle of heat in the northern hemisphere oceans and heat distribution by oceans currents* — T.N. 53 FNWC. Monterey California.
- LAMB H.H., (1972) — *Climate present, past and future* — Vol. I, Fundamentals and climate now. Methuen & Co Ltd, 613 p.
- LE ROY LADURIE E. (1967) — *Histoire du climat depuis l'An Mil* — Flammarion Editeur.
- MARGALEF R., (1985) — *Western Mediterranean* — Pergamon Press, 363 p.
- MAYENCON R., (1982) — *Météorologie marine* — Editions Maritimes et d'Outre-mer.
- MEMORIAL DE LA METEOROLOGIE NATIONALE, (1986) — «Normales climatologiques 1951-1980» — Tomes I, II.
- SARUKHANYAN E.I., SMIRNOV N.P., (1970) — *On the use of a genetic method to forecast year to year water temperature fluctuations in the Barents sea* — *Oceanology*, 10, pp. 471-478.
- SERRE F., (1978) — *Résultats dendroclimatiques pour les Alpes méridionales françaises, « in évolution des atmosphères planétaires et climatologiques de la Terre »* — Edition CNES, pp. 381-386.
- SERVAIN Y., (1976) — *Etude statistique de l'ensemble des données hydrologiques recueillies depuis le début du siècle en mer celtique* — Rapp. 4, Univers. Bretagne occidentale, pp. 1-143.
- THOMMERET Y., (1985) — *Activités scientifiques du Laboratoire de Radioactivité Appliquée de 1960 à 1983* — Bulletin du C.S.M. 1, pp. 78.
- VERNET J., (1952) — «*Quarante ans d'observations météorologiques à Monaco*» — Bulletin de l'Institut Océanographique n° 1003.

Remerciements,

Le Centre Scientifique de Monaco remercie tous ceux qui ont apporté leur contribution à cette synthèse, en particulier Madame Jacqueline CARPINE-LANCRE, Conservateur du Musée Océanographique de Monaco, et Monsieur MOURIAUX, Chef du Centre Météorologique de Nice, et ses collaborateurs.

Éditeur
Centre Scientifique de Monaco
16, boulevard de Suisse
MC 98030 MONACO CEDEX
(Principauté de Monaco)